



## **Integreret håndtering af vand og spildevand i København**

Projekt A3 - Alternativ vandhåndtering og selvforsyning - international erfaringsopsamling

**Rygaard, Martin; Albrechtsen, Hans-Jørgen; Binning, Philip John**

*Publication date:*  
2007

*Document Version*  
Publisher's PDF, also known as Version of record

[Link back to DTU Orbit](#)

### *Citation (APA):*

Rygaard, M., Albrechtsen, H-J., & Binning, P. J. (2007). *Integreret håndtering af vand og spildevand i København: Projekt A3 - Alternativ vandhåndtering og selvforsyning - international erfaringsopsamling*. Institut for Miljø & Ressourcer, Danmarks Tekniske Universitet.

---

### **General rights**

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.



**Integreret håndtering af vand og spildevand i København**  
**Projekt A3**  
**Maj 2007**

## **Alternativ vandhåndtering og selvforsyning** **– International erfaringsopsamling**

**Martin Rygaard**  
**Hans-Jørgen Albrechtsen**  
**Philip John Binning**



**Institut for Miljø & Ressourcer**

<b>1</b>	<b>FORORD.....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>SAMMENFATNING.....</b>	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>INDLEDNING.....</b>	<b>6</b>
3.1	FORMÅL .....	6
3.2	AFGRÆNSNING .....	6
<b>4</b>	<b>METODE.....</b>	<b>7</b>
4.1	BRUTTOLISTEN.....	7
4.2	UDVÆLGELSE AF CASES .....	7
<b>5</b>	<b>BRUTTOLISTE OG UDVALGTE CASES .....</b>	<b>8</b>
5.1	GEOGRAFISKE TENDENSER .....	9
5.1.1	<i>Norden .....</i>	9
5.1.2	<i>EU og det øvrige udland.....</i>	9
5.1.3	<i>Områder med fokus på alternative vandressourcer.....</i>	11
5.2	UDVALGTE CASES .....	12
5.3	HØJDEPUNKTER FRA CASES, DER IKKE BLEV UDVALGT .....	14
<b>6</b>	<b>ALTERNATIVE VANDRESSOURCER.....</b>	<b>15</b>
6.1	VANDFORBRUG OG VANDBESPARELSER .....	15
6.1.1	<i>Vandforbrug.....</i>	15
6.1.2	<i>Husholdningsforbrug.....</i>	15
6.1.3	<i>Vandbesparelser og København .....</i>	16
6.2	RECIRKULERING AF SPILDEVAND .....	16
6.2.1	<i>Anvendelse .....</i>	17
6.2.2	<i>Teknik og økonomi.....</i>	18
6.2.3	<i>Recirkulering og København .....</i>	20
6.3	AFVÆRGEVAND.....	20
6.3.1	<i>Anvendelse .....</i>	20
6.3.2	<i>Teknik og økonomi.....</i>	21
6.3.3	<i>Afværgvand og København .....</i>	21
6.4	AFSALTNING .....	21
6.4.1	<i>Anvendelse .....</i>	22
6.4.2	<i>Teknik og økonomi.....</i>	22
6.4.3	<i>Afsaltning og København.....</i>	23
6.5	REGNVAND .....	23
6.5.1	<i>Anvendelse .....</i>	23
6.5.2	<i>Teknik og økonomi.....</i>	24
6.5.3	<i>Regnvand og København .....</i>	24
6.6	OPSUMMERING AF RESSOURCEALTERNATIVER.....	25
<b>7</b>	<b>VANDPOLITIK OG PLANLÆGNING.....</b>	<b>27</b>
7.1	DRIVKRÆFTER .....	27
7.1.1	<i>Integreret vandforvaltning.....</i>	27
7.2	INDDRAGELSE AF OFFENTLIGHEDEN.....	27
7.2.1	<i>Offentlig debat.....</i>	27
7.2.2	<i>Håndtering af debat og offentligheden .....</i>	29
7.2.3	<i>Opfattelse af vandhåndtering og vandkvalitet .....</i>	30
7.3	RISICI OG HÅNDBTERING AF RESTPRODUKTER.....	30
7.3.1	<i>Risici og vandkvalitet.....</i>	30
7.3.2	<i>Udledning af koncentrat .....</i>	32
<b>8</b>	<b>KONKLUSION .....</b>	<b>33</b>
<b>9</b>	<b>REFERENCER.....</b>	<b>36</b>
<b>BILAG A</b>	<b>BRUTTOLISTE</b>	
<b>BILAG B</b>	<b>CASEBESKRIVELSER</b>	

## 1 Forord

Københavns Energi (KE) ønsker at etablere en platform for fremtidige beslutninger indenfor vand- og spildevandshåndteringen i København, der er solidt fagligt og videnskabeligt funderet, og som har stor teknisk bredde. Derfor har KE indgået en samarbejdsaftale med Institut for Miljø og Ressourcer: ”Integreret håndtering af vand og spildevand i København”. Samarbejdsaftalens overordnede mål er at analysere forholdene omkring Københavns nuværende og potentielle fremtidige vandressource. I den forbindelse undersøges potentialet for at anvende forskellige teknologier og strategier med henblik på, at KE i fremtiden fortsat kan levere vand i tilstrækkelige mængder og i den ønskede kvalitet.

I delprojekt A1 (Hauger & Binning 2006) blev Københavns vandbalance kortlagt. Under forudsætning af, at København skal være selvforsynende med vand, viser vandbalancen, at der findes 3 primære ressourcer at basere vandforsyningen på: opsamlet regnvand, genbrug af spildevand og afsaltning af havvand. Med baggrund i disse ressourcer og et opgør med dogmer for vandhåndtering blev der i delprojekt A2 (Rygaard et al. 2006) opstillet en række mulige scenarier, for hvordan håndteringen af vand- og spildevand kan integreres i fremtidens København.

Denne rapport er resultatet af tredje delprojekt: ”A.3 International erfaringsopsamling.” I modsætning til de foregående projekter tages der ikke udgangspunkt i København, men derimod i koncepterne ”øget selvforsyning” og ”integreret vandhåndtering” og så kigges der ud i verden for at finde eksempler på, hvordan disse koncepter allerede er håndteret i andre relevante storbyer. Rapportens mål er at opsamle de væsentlige state-of-the-art løsninger på større byers vandhåndtering og dermed være en del af et teknologisk beredskab for fremtidens vandhåndtering i København.

Projektet er tilknyttet følgende styregruppe:

Københavns Energi	Miljø & Ressourcer DTU
Jens Andersen (Plan, Vand)	Lektor Hans-Jørgen Albrechtsen (mikrobiologi)
Per Jacobsen (Afløbschef)	Professor Erik Arvin (vandrensning)
Sven Krongaard Hansen (Projekt, Afløb)	Lektor Philip Binning (hydrologi)
Niels Bent Johansen (Plan, Afløb)	Lektor Ann Marie (Rie) Eilersen (alternative vandressourcer)
Lis Napstjert (Vandforsyningschef)	Professor Mogens Henze (spildevandsrensning)
Karin Randrup Christensen (Plan, Vand)	Lektor Anna Ledin (miljøfremmede stoffer)
Sonia Sørensen (Plan, Afløb)	Lektor Peter Steen Mikkelsen (byhydrologi)
	Ph.D.-studerende Martin Rygaard (afsaltning)

Rapporten er udarbejdet i perioden november 2006 til maj 2007.

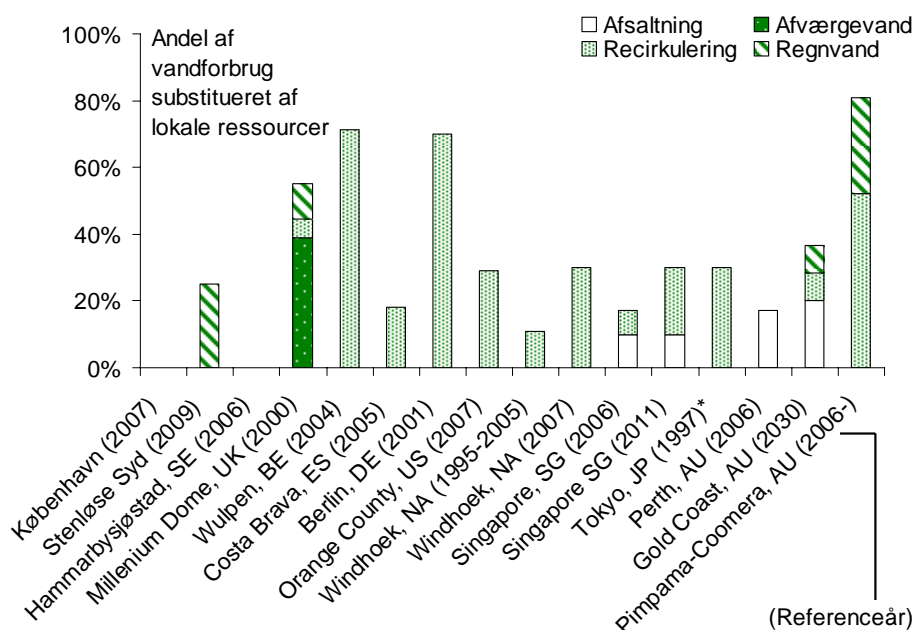
## 2 Sammenfatning

Denne rapport sammenfatter internationale state-of-the-art erfaringer med alternative vandforsyninger, der øger byområdets selvforsyningsgrad og derved reducerer afhængigheden af importerede vandressourcer. Rapportens overordnede formål er at indgå som en del af Københavns Energis teknologiske beredskab overfor fremtidige udfordringer på vandressourceområdet.

Baseret på projektgruppens egne erfaringer, gruppens internationale netværk, litteratur- og internetsøgning blev internationale 113 cases fundet relevante for projektets formål. Af de 113 cases blev det vurderet, at 15 cases er repræsentative for de bedste eksempler på alternativ vandforsyning i byområder verden over. Opstillingen af bruttolisten og en detaljeret beskrivelse af de 15 udvalgte cases har ført til følgende resultater og konklusioner:

København har et meget lavt vandforbrug i husholdningerne (~120 l/p/d), hvor der mange andre steder rapporteres vandforbrug over 200 l/p/d, og København kan kun i ringe grad udnytte erfaringer fra andre lande til at reducere husholdningsforbruget.

Mange byområder har dog kraftigt reduceret deres afhængighed af importerede vandressourcer. Nogle steder udgør alternative vandressourcer således mere end 70 % af vandforbruget (se figur nedenfor).



Der er overraskende mange eksempler på, at spildevand renses intensivt og recirkuleres som en væsentlig del af drikkevandsforsyningen. I dette projekt er beskrevet eksempler fra byområder i Belgien, Namibia, Singapore, Tyskland og USA, hvor folk drikker en blanding af konventionelle vandressourcer og rensset spildevand.

Regnvandsopsamling, afværgvand og intensivt rensset spildevand fungerer mange steder som et supplement til den almindelige vandforsyning. Vandet distribueres lokalt eller i større områder som en ikke-drikkevandsressource, og dækker op til 30 % af vandforbruget.

Afsaltet havvand benyttes i stigende grad som et grundelement i vandforsyningen. Det høje energiforbrug er i nogle tilfælde forsøgt gjort CO<sub>2</sub>-neutralt ved at udbygge med en vindkraftkapacitet svarende til afsaltningsanlæggets energiforbrug.

Generelt er de alternative vandressourcer forbundet med et højt energiforbrug (1-4 kWh/m<sup>3</sup> afhængig af teknik). Et andet væsentligt problem er usikkerhed forbundet med de intensive renseprocessers effektivitet overfor befolkningens indtag og kontakt med ukendte eller umålte toksiske stoffer. I tilfælde, hvor spildevand anvendes i drikkevandsforsyningen benyttes derfor flere hygiejniske barrierer, herunder membranprocesser, mod overførsel af toksiske stoffer og sygdomsfremkaldende mikroorganismer. Barriererne sandsynliggør, at risikoen for folkesundheden er meget lille og flere byområder har levet med recirkulering i årtier uden rapporterede problemer. Der ligger dog en betydelig udfordring i at sikre den løbende effektivitet af og tillid til disse barrierer.

Energiforbrug, risici og store økonomiske investeringer skærper den offentlige opmærksomhed omkring brugen af alternative vandressourcer, og der er flere eksempler på store folkelige og politiske debatter om vandstrategier, f.eks. når spildevand overvejes som en del af drikkevandsforsyningen. De igangværende klimaforandringer vil antageligt medføre et særligt fokus på alternativernes CO<sub>2</sub>-udledninger.

Erfaringsopsamlingens mange eksempler viser, at et byområde i høj grad kan gøre sig uafhængig af importerede vandressourcer. Ved et øget pres på den sjællandske grundvandsressource, kunne det overvejes at inddrage nogle af de ovennævnte alternative ressourcer i Københavns vandforsyning. I hvilket omfang alternativerne kunne indgå som supplement, rygrad eller beredskab på længere sigt, må baseres på erfaringerne samlet i denne rapport samt nærmere analyse i en Københavnsk kontekst.

### 3 Indledning

Københavns Energi, der er ansvarlig for vandforsyning og spildevandshåndtering i København, vil gerne være på forkant med udviklingen indenfor vandforsyningsområdet. Det forudses at blive vanskeligt at forlænge de nuværende indvindingsaftaler. Dette skyldes dels en overudnyttelse af grundvandsressourcen visse steder på Sjælland, og dels et stigende antal forurenede indvindingsboringer, men også politiske ønsker om en anderledes allokering af vandressourcerne, blandt andet som følge af det europæiske vandrammedirektiv. Derfor er det relevant at udforske, om det er muligt at øge Københavns selvforsyningsgrad, så afhængigheden af importerede vandressourcer mindskes. En øget uafhængighed af importerede vandressourcer kræver alternativ forsyning og allerede nu arbejder Københavns Kommune sammen med Københavns Energi for at fremme brugen af afværgvand som erstatning for drikkevand. Generelt udnyttes alternativer dog kun i ringe grad i København og resten af Danmark, og der er behov for at afsøge erfaringer fra udenlandske cases.

#### 3.1 Formål

De specifikke formål med Delprojekt A.3 er at indsamle erfaring fra storbyer, der

- i stor skala har beskæftiget sig med en eller flere af de alternative teknologier til håndtering af vand, der er af interesse for KE
- på eksperimentelt niveau har beskæftiget sig med nye teknologier med væsentligt potentiale for opskalering
- i storskala har opstillet strategier til at øge graden af selvforsyning med vand

#### 3.2 Afgrænsning

Projektet tager udgangspunkt i at finde eksempler på den internationalt bedste praksis indenfor alternative vandforsyninger. Der har først været sat fokus på Norden for at undersøge lande, der umiddelbart forekommer sammenlignelige med Danmark. Derefter er fokus flyttet til det øvrige Europa og det øvrige udland for at sikre, at de rapporterede løsninger er aktuelle også på verdensbasis.

Projektets overordnede præmis er at gøre København selvforsynende med drikkevand, og der er derfor særlig fokus på strategier og teknologier, der øger en storbys selvforsyningsgrad. I den forbindelse antages det, at en vandhåndtering integreret i byens kontekst har de bedste forudsætninger for at være bæredygtig såvel teknisk, økonomisk som politisk (Figur 3.1).

Skalaen er vigtig, og interessante cases skal kunne grupperes som enten

- a) Teknologi eller strategi udført/planlagt i by-skala, eller
- b) Teknologi på eksperimentelt eller pilotskala-niveau, der viser tydelige tegn på potentiale for opskalering til storby-brug.



**Figur 3.1. Grønne tage er eksempel på en integreret vandhåndtering i byer. Tagene reducerer og udjævner afløb efter regnvejrshændelser, renses vandet og sparer energi til såvel opvarmning som afkøling. Fra [www.greenroof.se](http://www.greenroof.se).**

## 4 Metode

Formål og afgrænsning indeholder en del subjektive afvejninger. Det er dog tilstræbt at sikre en repræsentativ udvælgelse og beskrivelse af erfaringer.

### 4.1 Bruttolisten

Først blev der etableret en bruttoliste af cases fra hele verdenen. Listen er opbygget af følgende dele:

1. Cases nævnt i projektrapporten A1 (Hauger & Binning 2006).
2. Cases projektgruppen på Institut for Miljø & Ressourcer kendte til.
3. Cases projektgruppens internationale netværk har kunnet bidrage med.
4. Cases identificeret ved hjælp af en internet- og litteratursøgning.



**Figur 4.1.** Et projekt, der ikke øger selvforsyningsgraden og derfor ikke fandt vej til bruttolisten: New York City henter vand op til 200 km fra centrum af byen. Vandet transporteres i enorme rørledninger som denne Tunnel no. 3, der konstrueres i perioden 1970-2020 75-240 m under jorden. Foto: [www.nyc.gov](http://www.nyc.gov).

### 4.2 Udvalgelse af cases

15 relevante cases blev udvalgt til at repræsentere et bredt udsnit af bruttolistens erfaringer, herunder nordiske, europæiske og verdenseksempler. De udvalgte cases berører tilsammen emnerne:

- Afsaltning: Demineralisering af brak- eller saltvand til brug i vandforsyningen
- Afværgevand: Anvendelse af dræn- og afværgevand fra grundvandssænkninger og remedieringsprojekter
- Recirkulering: Genanvendelse af brugt vand/spildevand i vandforsyningen
- Regnvand: Opsamling af nedbør til brug i vandforsyningen
- Vandbesparelser: Fokus på reducere vandforbruget
- Vandplan: Cases med helhedsplan for vandforsyningen

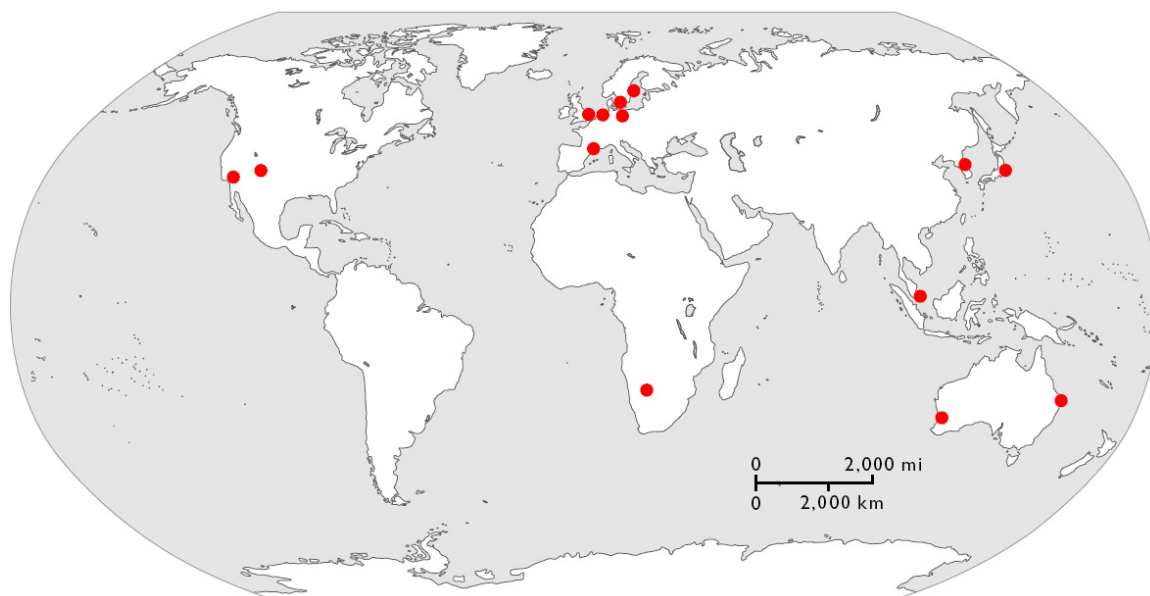
Disse emner er fællesnævnerne for midler, der benyttes til at øge byers selvforsyningsgrader i bruttolistens eksempler.

For at sikre en geografisk fordeling med eksempler fra Norden og Europa blev der udvalgt en dansk case, en svensk, fem europæiske samt otte eksempler fra den øvrige verden.



## 5 Bruttoliste og udvalgte cases

Bruttolisten omfatter cases fra ørkenbyer i det sydlige Afrika, hvor spildevand drikkes (Windhoek, Namibia), regnvandsopsamling i megabyer i forsøg på at kontrollere afløbsmængderne (Seoul, Korea) og øko-kollektiver, hvor miljømæssig bæredygtighed går forud øvrige hensyn (Hockerton, England). Der er tale om en bred samling af cases, fra hele verdenen (Figur 5.1). Bruttolisten med 113 cases findes som bilag til rapporten (Bilag A).



**Figur 5.1. Placering af projekter beskrevet detaljeret i denne rapport. Kort fra [www.nationalgeographic.com](http://www.nationalgeographic.com)**

Et større antal cases blev sorteret fra tidligt i processen, ofte på grund af, at casen var stort set identisk med cases, der allerede var omtalt, men i flere tilfælde også på grund af ringe tilgængelig information eller for lille skala, se også Figur 4.1. En lang række eksempler fra landområder og udviklingslande er udeladt, da rammerne for deres vandhåndtering er væsentligt forskellig fra en industrialiseret storby.

15 af de 113 cases på bruttolisten, blev udvalgt til nærmere beskrivelse. Tabel 5.1 viser fordelingen af cases i forhold til teknikker og elementer, der er repræsenteret. Den geografiske fordeling af cases er nogenlunde ens for både bruttolisten og de udvalgte cases. Generelt er der også ens fordeling af de anvendte teknikker på de to lister. Anvendelsen af afværgevand er kun repræsenteret i 2 tilfælde og variationer af recirkulering af spildevand findes i mere end halvdelen af casene.

**Tabel 5.1** Opgørelse af cases i erfaringsopsamlingen fordelt på geografi og emne. Bemærk at en case kan berøre flere emner. Opgørelse af vandbesparelser er kun tilgængelig for de udvalgte cases.

	Udvalgte		Bruttoliste	
Geografi				
Norden	2	13%	18	16%
Europa	5	33%	28	25%
Øvrige	8	53%	67	59%
<b>I alt</b>	<b>15</b>	<b>100 %</b>	<b>113</b>	<b>100 %</b>
Emne				
Recirkulering af spildevand	10	67%	68	60%
Afsaltning	3	20%	13	12%
Brug af afværgvand	1	7%	3	3%
Inddragelse af regnvandsressourcen	6	40%	36	32%
Vandbesparelser	11	73%	33	29%
Helhedsplan/vandplan	4	27%	19	17%

## 5.1 Geografiske tendenser

Under gennemgangen af de oplistede cases blev en række geografiske tendenser observeret.

### 5.1.1 Norden

Danmark sammenlignes ofte med sine Nordiske nabolande, og det er derfor undersøgt, hvordan disse lande benytter alternativ drikkevandsforsyning. Projektets bruttoliste indeholder 6 svenske projekter, hvor det er karakteristisk, at vandforbrug og -produktion ikke er særligt fremtrædende elementer i bestræbelserne på en øget bæredygtighed (se f.eks. case 2). Dette skyldes antageligt, at der ikke er et egentligt problem med at producere rigelige vandmængder i en god kvalitet og med lave omkostninger. Lignende omstændigheder gør sig gældende i de øvrige cases fra Norden: Sverige, Norge, Finland og Island har simpelthen ikke et ressourceproblem i forhold til drikkevandsproduktion (Tabel 5.2). Da Europakommissionen i 2003 lavede en verdensomspændende opgørelse af recirkuleringsprojekter, blev der blot registreret 4 projekter i Norden ud af 3300 projekter. De 4 nordiske projekter er alle af mindre skala (<100.000 m<sup>3</sup>/år) (European Commission 2006).

**Tabel 5.2.** Total vandindvinding som procent af nettonedbørsbidraget indenfor landets grænser til den nationale vandressource, estimat år 2000 (FAO 2005).<sup>1</sup>

Land	%
Tyskland	31.0
Danmark	21.2
Finland	2.3
Sverige	1.7
Norge	0.6
Island	0.1

### 5.1.2 EU og det øvrige udland

Det europæiske vandrammedirektiv forventes at få stor betydning for vand- og spildevandshåndtering i EU (European Parliament and Council 2000). Skal målene om ”godt vandmiljø” nås, er det en udbredt opfattelse, at der skal tænkes anderledes i mange af Europas vandområder, ikke mindst med hensyn til indvinding af vand til byernes vandforsyninger.

<sup>1</sup> Det bemærkes at FAO's opgørelse er forbundet med en del uklarhed omkring indberettede vandstrømme, og at der ikke tages højde for den del af det indvundne vand, der returneres efter brug. Estimatet for Danmark er noget lavere end den nationale ressourceopgørelse fra 2003, der viste udnyttelsesgrader >200 % for Københavnsområdet (Henriksen & Sonnenborg 2003).

## Recirkulering

I EU har Tyskland, Holland, Belgien, England og Spanien skilt sig ud med flere alternative vandprojekter. I Holland, Belgien og Spanien benyttes recirkuleret spildevand til vanding i landbrug og i byer, golfbaner, kunstig grundvandsdannelse og industri. Europakommissionen har netop udgivet den første fælleseuropæiske manual i recirkulering, og recirkulering anses dermed fra politisk hold som et relevant svar på vandrammedirektivets øgede pres på Europas vandforsyninger (European Commission 2006). Det er ligeledes estimeret, at der er et stort potentiale for spildevandsgenbrug som et centralt element i opfyldelsen af direktivets krav (Hochstrat et al. 2006). Potentialet understreges af, at Japan, USA og Australien i 2003 hver især havde langt flere recirkuleringsprojekter i 2003 end de 230 recirkuleringsprojekter, der i alt var registreret i EU (European Commission 2006). På verdensplan er det netop de tre lande, der regnes for førende indenfor recirkulering af spildevand. Recirkuleringsprojekterne er jævnt fordelt mellem landbrug og urbane formål i USA og Australien, mens Japan primært recirkulerer til forbrug i byerne.

Citat (du Pisani 2006)

Van Vuuren:  
"Water should be  
judged not by its  
history, but by its  
quality."

## Regnvandsopsamling

Der findes ikke en fælleseuropæisk manual i regnvandsopsamling, men regnvandsopsamling foregår på flere niveauer i Europa, fra husejerens regnvandstønde til havevanding til opsamling af vand fra store byggerier. Internationalt set er der stigende fokus på håndtering af regnvand, og i 2006 oprettede IWA en specialistgruppe for integreret regnvandsforvaltning. De store programmer og manualer for regnvandsopsamling findes dog i Australien og USA, hvor staten Texas' regnvandsmanual ofte nævnes som udgangspunkt for nye regnvandsprojekter (Texas Water Development Board 2005).

## Afsaltning

Afsaltning af havvand har i årtier været anvendt i Mellemøstens tørre og olierige lande, men anvendes nu over hele den industrialiserede verden. I Europa er Spanien ved at udvikle sig en stor afsaltningsnation, men ellers er det stadig Mellemøsten, der fører an i udbygningen af afsaltningskapaciteten, ikke mindst hjulpet på vej af konstruktionen af verdens pt. største afsaltningsanlæg i Israel (Figur 5.2). Israel er et godt eksempel på tendenserne i Mellemøsten: der er fokus på at øge forsyningskapaciteten til både befolkning og landbrug, mens landets ferskvandsressourcer er få og bliver fortsat både færre og af ringere kvalitet (Tal 2006). Store afsaltningsanlæg findes nu også i Australien, Singapore



Figur 5.2. Ashkelon afsaltningsanlægget i Israel er designet til at producere 100 mio. m<sup>3</sup> vand pr. år (Tal 2006). Foto: IDE Technologies.

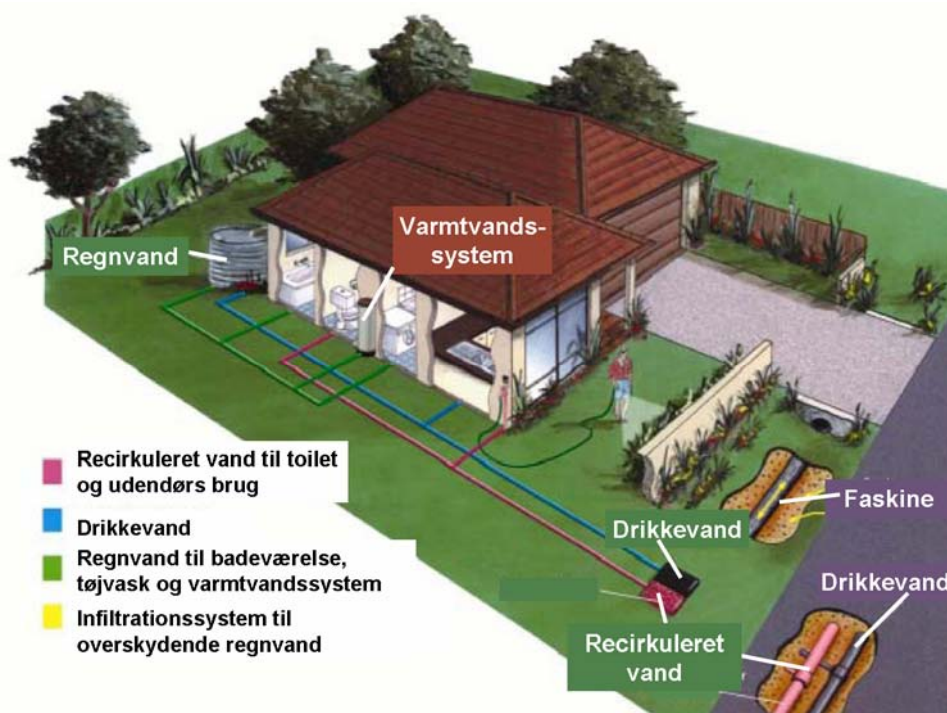
og USA. I USA har der været indkøringsproblemer ved enkelte anlæg<sup>2</sup>, og det hævdes at være en mulig årsag til en stagnation i udbredelsen af afsaltning i landet de seneste år (Global Water Intelligence 2006).

### 5.1.3 Områder med fokus på alternative vandressourcer

Som ovenstående viser, sker der meget på vandressourceområdet flere steder rundt om i verdenen. I de tørre og folkerigestater i USA, som Californien, Texas og Florida er der identificeret mange projekter, hvor der gøres op med århundreders vandforvaltning. Det samme gør sig gældende i det folkerige Japan og mange andre steder (Bilag A). Australien fungerer her som eksempel på sådan en region hvor vandforsyning er i særligt fokus.

#### Australien

I Australien er der et enormt fokus på vandhåndtering. Både nationale og staternes officielle hjemmesider har tørken som fremtrædende menupunkter og der er livlig folkelig og politisk debat om landets vandsituation (case 14, 15, afsnit 7.2.1). Landet er ramt af den værste tørke i århundreder, og den føderale regering har nedsat en vandreformskommission, der skal lede arbejdet med at implementere en ny national vandstrategi.



Figur 5.3. Principskitse over 3-strengt forsyning i nye byområder i Pimpama-Coomera, Australien, hvor drikkevandsforbruget ventes reduceret til 16 % af normalen, Bilag B case 15.

Det er en udbredt opfattelse, at landet står ved en skillevej, hvor der skal tages et opgør med århundreders vandressourceforvaltning. Som kommissionsformanden Ken Matthews udtrykker det:

<sup>2</sup> Tampa Bay Desalination Plant var planlagt til åbning december 2002. Inden færdiggørelsen gik en række rådgivere konkurs og designet af vand-forbehandlingen viste sig utilstrækkelig. Siden er det konkluderet, at det ikke var teknikken, der var årsag til problemerne, men dårlig ledelse og rådgivning (AWA 2005)

*“For 200 years, when Australians needed more water it was there. That is no longer so. In the last 20 years we have reached a tipping point in our history where we are bumping up against our limits.”* (Citeret fra Milliken (2006))

Vandmanglen er så alvorlig, at selv vandstrategier, udformet for blot 2-3 år siden bliver kraftigt ændret for at skabe vandressourcer, der kan tages i brug indenfor måneder i stedet for årtier, som først planlagt. Dette er gengivet i beskrivelserne af to udvalgte cases fra Perth (14) og Gold Coast (Figur 5.3).

## 5.2 Udvalgte cases

15 af bruttolistens cases blev vurderet særligt relevante i forhold til projektets formål. En oversigt over de 15 cases findes i Tabel 5.3.

**Tabel 5.3. Oversigt over udvalgte cases. Baseret på Bilag B.**

Norden		
Sted	Emne	Konklusion
1 <i>Stenløse Syd, Egedal Kommune</i> Danmark	Vandplan Regnvand	Obligatorisk regnvandsopsamling af vand til toilet og tøjvask fra hustag kombineret med lokal infiltration.  Gode erfaringer med obligatorisk regnvandsopsamling, der reducerer drikkevandsforbruget med 25 % i nyt boligområde.
2 <i>Hammarbysjøstad, Stockholm</i> Sverige	Vandplan	Økologisk bydel, vandbesparende installationer og lokal håndtering af alt spildevand.  På trods af fokus på vandbesparelser er forbruget højere end i København (150 l/p/d).
Europa		
Sted	Emne	Konklusion
3 <i>Millenium Dome, London</i> Storbritannien	Afværgevand Recirkulering Regnvand	Regnvand, gråt spildevand og forurennet grundvand anvendtes i toiletter og urinaler i udstillingscenter.  Dyrt fuldskala demonstrationsprojekt, hvor alternative vandressource dækkede 55 % af bygningens vandforbrug.
4 <i>Torreele, Wulpen</i> Belgien	Recirkulering	Recirkulering af spildevand via grundvandszonen. Bruges til drikkevandsforsyning.  Europæisk eksempel på recirkulering af spildevand til drikkevand via grundvand med membranfiltrering.
5 <i>Costa Brava</i> Spanien	Recirkulering	Recirkulering af spildevand via simple behandlingsteknikker med henblik på kunstig grundvandsdannelse.  Europæisk eksempel på billig recirkulering af spildevand til grundvand uden membranfiltrering.
6 <i>Berlin</i> Tyskland	Recirkulering	Delvist lukket vandkredsløb omkring byen medfører recirkulering af spildevand til drikkevandsforsyningen via bank-infiltration og kunstig grundvandsdannelse.  Erfaringer omkring transport af problematiske stoffer i tilfælde af recirkulering af husholdningsspildevand til drikkevandsforsyning.
7 <i>Potsdamer Platz, Berlin</i> Tyskland	Regnvand	Opsamling af regnvand i bykerne renses via grønne tage og bede til brug i kunstigt udendørs vandmiljø og toiletter.  Integreret vandhåndtering, der begrænser afløb og vandforbrug og samtidigt skaber et bedre bymiljø.

Tabel 5.3 fortsat

Verdenen		
Sted	Emne	Konklusion
<b>8</b> <i>Orange County, Californien</i> USA	Recirkulering	Kunstig grundvandsinfiltration baseret på spildevand og anvendt som saltvandsbarriere. Grundvandet er en del af drikkevandsforsyningen.  Et af pionérstederne inden for genanvendelse af spildevand, mange referer til anlægget. Ekstra dimension med saltvandsbarrieren som kan være interessant i Københavnsk sammenhæng.
<b>9</b> <i>Rio Rancho, New Mexico</i> USA	Recirkulering	Membran-bioreaktor benyttes til recirkulering af spildevand til vanding og med tiden måske med henblik på injektion i byens drikkevands-akvifer.  MBR-systemet er anderledes end de øvrige udvalgte recirkuleringssystemer, hvor der benyttes konventionelle spildevandsrensningsteknikker,
<b>10</b> <i>Windhoek</i> Namibia	Recirkulering	Direkte recirkulering af spildevand til drikkevandsbrug har foregået siden 1968.  Unikt eksempel på direkte anvendelse af husholdningers spildevand i drikkevandsforsyningen.
<b>11</b> Singapore	Afsaltning Vandplan Recirkulering Regnvand	Omfattende langsigtet plan der skal gøre Singapore selvforsynende med drikkevand. Afsaltning af havvand, recirkulering af spildevand til industri og drikkevandsbrug og regnvand indgår i planen.  Et enestående eksempel på en storbyes ønske om at være uafhængig af importeret vand. Stort PR arbejde har gjort eksemplet verdenskendt.
<b>12</b> <i>Seoul</i> Korea	Vandplan Regnvand	Obligatorisk regnvandsopsamling som sekundær vandforsyning, hvor regnvandsopsamlingen koordineres centralt med henblik på at udjævne afløbet efter kraftige nedbørshændelser.  Den obligatoriske regnvandsopsamling er begrænset til offentlige bygninger, men interessant sammenspil mellem afløbshåndtering og vandbesparelser.
<b>13</b> <i>Tokyo</i> Japan	Recirkulering Regnvand	Omfattende brug af recirkuleret spildevand som sekundær vandforsyning. Recirkulering er obligatorisk i alle nye bygninger over 30.000 m <sup>2</sup> .  Eksemplet viser, at spildevand kan behandles og recirkuleres lokalt i den enkelte bolig eller boligblok.
<b>14</b> <i>Perth</i> Australien	Afsaltning	Storskala membran-afsaltning af havvand til drikkevandsbrug, baseret på køb af el fra vindmøllepark.  Interessant med CO <sub>2</sub> -neutral vandforsyning, baseret på energikrævende afsaltning.
<b>15</b> <i>Gold Coast,</i> Australien	Afsaltning Vandplan Recirkulering Regnvand	Omfattende helhedsplan for vandhåndtering, inklusiv afsaltning af havvand, recirkulering til ikke-drikkevandsbrug, regnvandsopsamling og vandbesparelser. I bydelen Pimpama-Coomera sigtes mod 84 % reduktion i drikkevandsforbruget.  Integreret vandhåndtering, med mange erfaringer at høste omkring praktisk udførelse af vandplaner, planlægning og borgerinddragelse.

### 5.3 Højdepunkter øvrige cases

Ud over de særligt relevante udvalgte cases præsenteret på de forrige sider indeholder bruttolisten en lang række cases med spændende tiltag. Der er tale om mange variationer over de samme temaer, som også kan være relevante i andre sammenhænge (Tabel 5.4).

**Tabel 5.4 Eksempler på spændende cases på bruttolisten, der ikke blev inkluderet i erfaringsopsamlingen. Casenumre refererer til Bilag A.**

Anderledes afsaltning		
25	<i>Henderson Marinebase, Freemantle</i> Australien	CO <sub>2</sub> -neutral afsaltning baseret på bølgeenergi. Mindre pilotanlæg designet til kombineret afsaltning og elproduktion baseret på bølgeenergi.
56	<i>Askhelon</i> Israel	Verdens pt. største afsaltningsanlæg (100 mio. m <sup>3</sup> /år) producerer vand til ca. 3 kr./m <sup>3</sup>
Anderledes recirkuleringsprojekter		
28	<i>Rousehill, Sydney</i> Australien	Stort recirkuleringsprojekt med dobbeltstrenget vandforsyning til 22.000 husstande. Bruges til toiletter, bilvask mm.
46	<i>Aubergenville, Parisregionen</i> Frankrig	Ikke-planlagt indirekte recirkulering langs Seinen. Vandforsyningen er baseret på 25 % spildevand
50	<i>Liedsje Rijn,</i> Holland	Dobbeltstrenget system nedlagt på grund af for mange fejltilslutninger. Viser at det kan gå galt.
66	<i>Hele landet,</i> Pakistan	Udbredt recirkulering af urensset spildevand. Recirkuleringen tilbagefører vand og næringstoffer til landbruget.
71	<i>Riyadh</i> Saudi Arabien	Gratis levering af recirkuleret spildevand. Vandet benyttes til vanding og en mindre del i industrien. Halvdelen udnyttes ikke direkte men afledes til kanal.
101	<i>Cloudcroft, New Mexico</i> USA	Direkte recirkulering af spildevand til drikkevand. Landsby med 800 indbyggere.
Naturhensyn		
100	<i>City of West Palm Beach, Florida</i> USA	Genbrug af spildevand drevet af øget allokering af vandressourcer til Everglades National Park
Planlægning		
63	<i>Dongtan, Shanghai</i> Kina	Økoby markedsført som fremtidens bæredygtige storby.
108	<i>Texas</i> USA	Omfattende og langsigtet vandplan for et fordoblet befolkningstal frem mod 2060
Fremtiden		
81	<i>Eden project, Cornwall</i> Storbritannien	Regnvandsopsamling til brug i biosfære Fungerer primært som drivhuse
112	<i>Kennedy Space Center</i> USA	Spildevandsrensning på lange rummissioner

## 6 Alternative vandressourcer

Under gennemgangen af bruttolisten viste det sig, at casene havde følgende karakteristiske fællesnævner for berørte emner: Vandforbrug og -besparelser, recirkulering, afværgvand, afsaltning, regnvand. Det er vurderet i hvilken grad ressourcerne fungerer som *rygrad*, dvs. basis for vandforsyningen, *supplement*, der kan bidrage til basis-vandforsyningen, og *beredskab*, der kan anvendes som backup i tilfælde af nedbrud i en del af vandforsyningen.

### 6.1 Vandforbrug og vandbesparelser

Før der planlægges omfattende brug af alternative ressourcer, bør det overvejes hvilke mængder vand, der er behov for i København. Det må overvejes, om det er muligt at drage erfaringer fra udenlandske eksempler med hensyn til at reducere vandforbruget og derved spare kostbare ressourcer på alternativ vandindvinding.

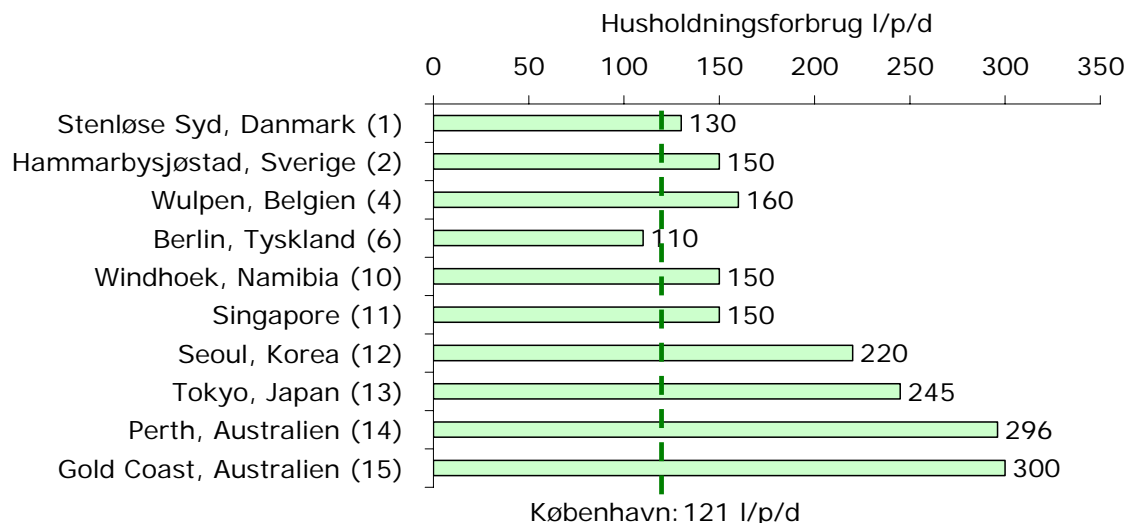
#### 6.1.1 Vandforbrug

Opgørelser over vandindvinding og -forbrug er vanskelige størrelser, på grund af varierende definitioner og vilkår for anvendelsen af vand fra sted til sted. For eksempel foregår havevanding i København og Berlin under helt andre klimatiske vilkår end i Orange County, Californien og Perth, Australien, hvor fordampning, er højere end i Nordeuropa. I Perth bruges således halvdelen af husholdningens 296 l/p/d til havevanding og svømmebassiner (case 14), og det må antages, at størstedelen af dette udendørsforbrug tabes fra ferskvandssystemet via fordampning. I Berlin udgør havevanding formentlig en mindre del af vandforbruget, og størstedelen af det brugte vand returneres til ferskvandssystemet via udledning til den lokale ferskvandsressource. I København tabes det brugte vand ud af ferskvandssystemet via udledning til havet. Set i et vandressourceperspektiv er der på denne baggrund meget, der taler for, at der ikke blot fokuseres på indvindings- og forbrugsmængder, men også på hvad der sker med vandet *efter* brugen (Falkenmark 2003). Dette understreger ikke mindst relevansen af recirkulering, som reducerer tabet af ferskvand.

#### 6.1.2 Husholdningsforbrug

Husholdningsforbruget for 10 af de udvalgte cases er gengivet i Figur 6.1. Berlin har med 110 l/p/d et lavere husholdningsforbrug end Københavns 121 l/p/d, mens andre udenlandske byer forbruger mere end 150 l/p/d. Københavns Energi har et mål om at nå 110 l/p/d i 2010, hvilket altså ikke er lavere end det nuværende niveau for den tyske hovedstad. I udviklingslande er kravet til vandforsyninger sat til 50 l/p/d, hvilket er den nedre grænse for hvor meget vand en person til basale behov som væskeindtag, madlavning og personlig hygiejne (Gleick 1996). Grænsen kan antages som et absolut minimum, og dertil kommer yderligere behov for rengøring, bilvask, havevanding og lange bade mm., som kan variere kraftigt fra individ til individ og sted til sted. I rige lande skønnes den nedre grænse til omkring 100 l/p/d, men der kan være store lokale variationer (Gleick 1996).





**Figur 6.1. Rapporteret husholdningsforbrug i de udvalgte cases med casenummer i parentes. Bemærk at værdierne refererer til forskellige år i perioden 2002-2006 jf. Bilag B.**

I de fleste cases forsøger vandforsyningerne at nedbringe vandforbruget. De mest intensive programmer findes i Perth og Gold Coast i Australien, hvor der gives økonomisk tilskud til forskellige vandbesparende investeringer, som for eksempel vandsparende brusehoveder, vaskemaskiner og pool-dækkener. Casene beskriver, at der de seneste år også har været skrappe restriktioner på udendørs vandforbrug. De vandbesparende tiltag har været meget effektive og har i Perth halveret vandforbruget siden 1980'erne (case 14). Da Australiernes vandforbrug stadig er det dobbelte af Københavnerne, er det næppe sandsynligt, at der kan læres meget om vandbesparelser herfra.

### 6.1.3 Vandbesparelser og København

Fra Københavns nuværende husholdningsforbrug på 121 l/p/d er der et potentiale for yderligere reduktion, men grænsen ligger antageligt nærmere de 100 l/p/d end de 50 l/p/d. En reduktion til 100 l/p/d vil være et væsentligt supplement til Københavns vandforsyning. Dog kan der næppe, af de internationale cases beskrevet her, læres meget om, hvordan reduktionen opnås.

## 6.2 Recirkulering af spildevand

Recirkuleret spildevand betragtes ofte som en kontroversiel vandressource i vandforsyning, særligt hvis vandet skal drikkes. Byers vandhåndtering har traditionelt fokuseret på at adskille det brugte vand fra rent vand.

Folk i Wulpen i Belgien forventes at bruge 160 l/p/d mod Københavns 121 l/p/d, men modregnes de 70 %, som returneres via recirkulering i Belgien, er deres individuelle nettobelastning af grundvandsressourcen ca. 40 % af en Københavners. En anden fordel, der peges på i de udvalgte cases er at recirkulering er uafhængigt af klimaet i den forstand at det også produceres i tørre perioder.

Kravene til vandbehandling og involverede teknikker afhænger primært af kilderne til spildevandet, og hvorvidt vandet skal benyttes i drikkevandsforsyningen eller til øvrige ikke-drikkevandsformål.

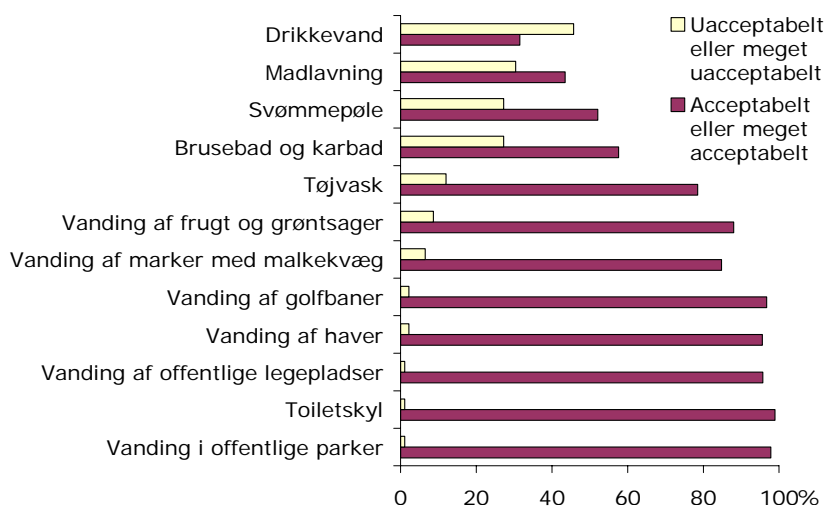
### 6.2.1 Anvendelse

Det genindvundne vand fra recirkulering kan deles op efter anvendelse (Tabel 6.1). Der skelnes mellem planlagt og ikke-planlagt recirkulering, hvor det sidste er udbredt i byer langs floder og søer, hvor nedstrøms vandforsyninger er helt eller delvist baseret på opstrøms udledning af spildevand.

**Tabel 6.1. Typiske anvendelser af recirkuleret vand og repræsentative cases fra Bilag B.**

Planlagt recirkulering	Case eksempler (referenceår)	Mængder
Indirekte til drikkevand (via akvifer eller overfladevande)	11 Vandplan i Singapore (2006)	1 % af drikkevandsforsyningen til >4,5 mio. mennesker.
	8 Recirkulering af spildevand i Orange County Water District (2007)	97 mio. m <sup>3</sup> /år injiceres og infiltreres til akvifer, hvorfra der oppumpes 333 mio. m <sup>3</sup> /år.
	4 Recirkulering via grundvand i Wulpen (2004-2006)	Infiltration af 2,5 mio. m <sup>3</sup> /år til akvifer hvorfra der oppumpes 3,5 mio. m <sup>3</sup> /år til drikkevandsforsyning.
	9 Recirkulering i Rio Rancho via membran bio-reaktor (2006)	Spildevand fra ca. 10.000 husstande (recirkulering endnu ikke implementeret)
Direkte til drikkevand	10 Direkte recirkulering i Windhoek (2007)	Op til 21.000 m <sup>3</sup> /d recirkuleres til drikkevandsforsyningen og dækker 25-35 % af drikkevandsforsyningen.
Industri (procesvand mm.)	13 Lokal recirkulering i Japan (1997)	>70 mio. m <sup>3</sup> /år recirkuleres via mindre lokale anlæg primært til industri og erhvervsformål.
	11 Vandplan i Singapore (2006)	Ca. 80 mio. m <sup>3</sup> /år recirkuleret vand anvendt i industri.
Sekundær vandforsyning i byer (vanding af parker og haver, vandkunst, toiletskyl mm.)	15 Gold Coast Water future (2007)	Fra år 2056 ca. 7 mio. m <sup>3</sup> /år, svarende til 8 % af husholdningsforbrug.
	3 Sekundær vandforsyning i Millenium Dome (2000)	7.200 m <sup>3</sup> /år eller 6 % af vandforbrug i multihal.
	9 Recirkulering i Rio Rancho via membran bio-reaktor (2006)	Spildevand fra ca. 10.000 husstande (recirkulering endnu ikke implementeret)
	13 Lokal recirkulering i Japan (1997)	>70 mio. m <sup>3</sup> /år recirkuleres via mindre lokale anlæg primært til industri, erhvervs- og institutionsformål.
Landbrugsvanding og naturgenopretning mm.	5 Recirkulering af spildevand på Costa Brava (2006)	Ca. 3 mio. m <sup>3</sup> /år infiltreres til akvifer.
Ikke-planlagt recirkulering	Case eksempler	
Indirekte til drikkevand	6 Bank-infiltration og kunstig grundvandsdannelse i Berlin (2001)	Op til 11-28 % af de enkelte vandværkers indvinding er periodisk recirkuleret spildevand, generelt dog væsentligt lavere.

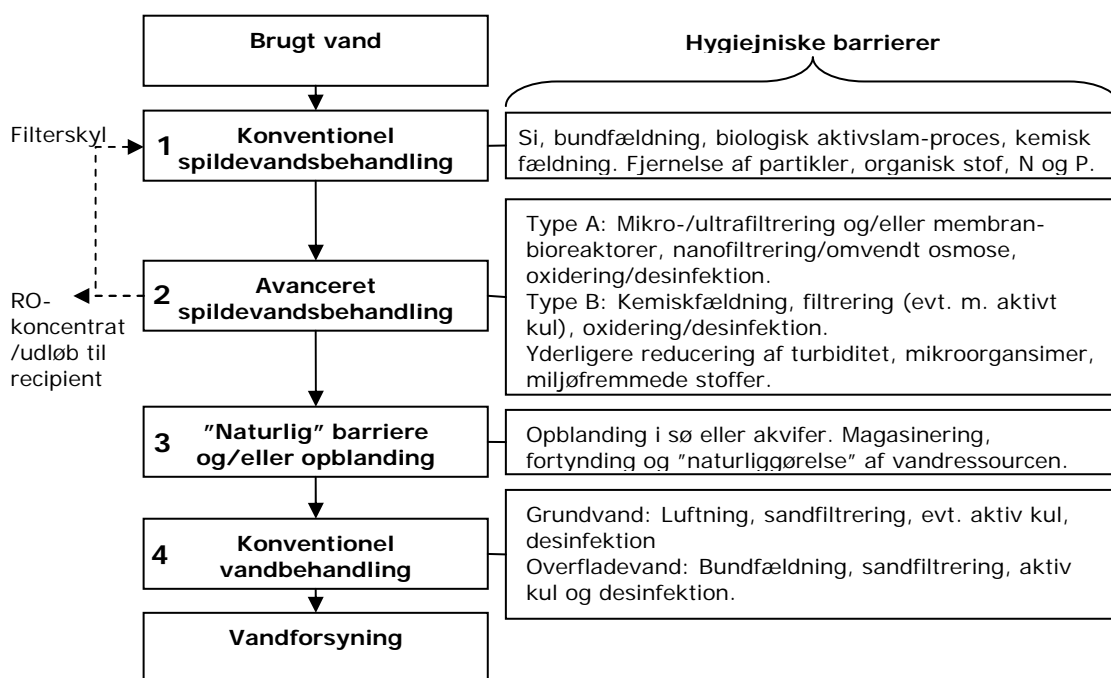
Spildevand udgør allerede eller forventes med tiden at udgøre en del af drikkevandsressourcen i seks af de udvalgte cases. Eksemplerne fra Australien, USA og Japan viser, hvordan recirkuleret spildevand kan distribueres som en sekundær vandforsyning til ikke-drikkevandsformål. I enkelte cases er recirkuleringen af spildevand obligatorisk i nye byggerier (case 13, 15) og dermed muligt at tænke systemerne ind i bygningerne tidligt i processen. Folk er ofte mere positive overfor recirkulering, så længe de ikke skal drikke vandet (Figur 6.2), og samtidigt kan der spares på behandlingen, når vandet ikke nødvendigvis skal have drikkevandskvalitet. Resultater i Figur 6.2, skal dog anvendes med forbehold, da deltagerne i undersøgelsen svarer med deres umiddelbare kendskab til recirkulering som reference og kan muligvis ændre mening efterhånden som deres kendskab til recirkulering og anvendte teknikker øges.



**Figur 6.2. Accept af recirkulering i forhold til vandanvendelse. Telefoninterview foretaget i Perth, Australien (Po et al. 2005).**

### 6.2.2 Teknik og økonomi

Når brugt vand optræder som en del af vandforsyningen, er der ofte teknisk fokus på at opbygge et antal barrierer i behandlingen, der effektivt sikrer mod overførsel af toksiske stoffer til forbrugeren. Figur 6.3 viser den typiske sekvens i recirkuleringssystemer blandt de udvalgte cases.



Figur 6.3. Skematisk fremstilling af recirkulering, som det typisk ser ud i de udvalgte cases (Bilag B).

Alle systemerne i de udvalgte cases indeholder trin 1 og 2. Den væsentligste forskel er, om der er nano- eller omvendt osmose-membraner i den avancerede spildevandsbehandling (Type A). Nano- og omvendt osmose-membraner fraseparerer bedre opløste stoffer, virus og bakterier og efterfølger ofte en mikro- eller ultrafiltrering. Den samlede sekvens kendes som *"double membrane systems"* (European Commission 2006). En mere simpel behandling (type B) består typisk af filtrering (sand-, mikro- eller ultrafiltrering) og desinfektion. Type A (f.eks. case 4, 8 og 11) er udbredt, når vandet skal have drikkevandskvalitet efter brug, mens type B (case 5, 13) anses tilstrækkelig, når vandet skal bruges til vanding eller anden ikke-drikkevands brug. Energiforbruget ved type A er rapporteret til 0,8-1,4 kWh/m<sup>3</sup> i de udvalgte cases og prisen ligger på 1-2,5 kr./m<sup>3</sup>, eksklusiv den almindelige spildevandsbehandling. Type B forventes at være mindre energikrævende på grund af den simplere rensningsproces, og produktionsprisen i case 5 er så lav som 0,4 kr./m<sup>3</sup>. Skal vandet bruges som en del af drikkevandsforsyningen indgår der oftest også trin 3 og 4.<sup>3</sup> Ud over at fungere som barriere ved fortynding er 3. trin en væsentlig psykologisk faktor i recirkuleringsprojekter, der producerer drikkevand. I Singapore (case 11) er der i den offentlige præsentation af projektet lagt stor vægt på dette trin. Opblandingen udgør en buffer i tilfælde af fejlfunktion i vandbehandlingen, og reintroducerer samtidigt det recirkulerede vand i et "naturligt" vandkredsløb, hvilket forventes at påvirke folks tillid til hele systemet. I forbindelse med opblandingen er det nødvendigt at sikre et stabilt blandingsprodukt, der lever op til den ønskede kemiske kvalitet af vandet. F.eks. vil omvendt osmose-filtreret vand være af en fundamental anderledes kemisk sammensætning, end det mineralrige vand det eventuelt opblandes med, hvilket vil have betydning for vandets smag, stabilitet og korrosive egenskaber. I 4. trin behandles vandet som i den almindelige indvinding.

<sup>3</sup> En enkelt case (nr. 10) adskiller sig væsentligt fra dette system og indeholder ikke trin 3 og 4.

### 6.2.3 Recirkulering og København

Det må konkluderes, at recirkulering af spildevand til drikkevandsformål foregår i et omfang og på steder, så det må forventes, at recirkulering kan være en del af fremtidens drikkevandsforsyning i København. Da husholdningerne er den største vandforbruger i København, er særligt recirkulering til drikkevandsbrug interessant (om end meget politisk følsomt), men også brugen af en sekundær vandforsyning i byer er interessant. Recirkulering kan øge selvforsyningsgraden væsentligt i betragtning af, at der årligt afledes 31 mio. m<sup>3</sup> spildevand fra København (Hauger & Binning 2006). I forhold til København, må det først afgøres, om recirkulering skal foregå som sekundær distribution lokalt (case 13), sekundær distribution i større områder (case 15), eller om det skal være en del af drikkevandsforsyningen (case 4, 8, 11, 30 mfl.). Et sekundært system, kompliceres af 2-strengt vandforsyning, mens et system der renser spildevand til drikkevand baserer sig på intensive rensningsteknologier. Et to-strengt system er mere omkostningskrævende, og der vil altid være en begrænset risiko for at folk indtager vand, som ikke er ment som drikkevand. Et sådan system fungerer som supplement til den almindelige drikkevandsforsyning. I tilfælde af rensning til drikkevandskvalitet er systemet konceptuelt simplere, med kun én vandskvalitet at forholde sig til. Recirkuleringen kan da både udgøre en væsentlig del af rygraden eller være et mindre supplement eventuelt opblanding i Sjællandske akviferer.

### 6.3 Afværgevand

I forbindelse med infrastrukturanlæg, bygninger og remediering af jord- og grundvandsforureninger oppumpes grundvand, ofte uden at vandet udnyttes. Jord- og grundvandsgruppen på Institut for Miljø og ressourcer har ikke kendskab til danske remedieringsprojekter, hvor det oppumpede vand udnyttes som sekundær vandforsyning, men vandet er i nogle tilfælde blevet reinfiltreret til grundvandsmagasinet efter rensning (Bjerg 2007; Rambøll 2005). Der eksisterer derudover et potentiale for at udnytte sådanne afværgepumpninger som en supplerende vandressource som set i andre tilfælde, se Tabel 6.2.

**Tabel 6.2 Eksempler på udnyttelse af afværgevand.**

Case eksempler (referenceår)	Nøgletal
3 Millenium Dome, Storbritannien (2000, Bilag B)	51.000 m <sup>3</sup> /år eller 40% af vandforbruget i multihal dækket af forurenat grundvand brugt til toilet og urinalskyl.
36 Amagerværket, Danmark (2006, Rostgaard 2007)	465.000 m <sup>3</sup> afværgevand og 190.000 m <sup>3</sup> havvand afsaltes til ca. 350.000 kedelvand om året. 7-8 kr./m <sup>3</sup> (driftsomkostninger)

#### 6.3.1 Anvendelse

Afværgevand kan anvendes som sekundær vandforsyning i nærheden af oppumpningen. I Millenium Dome i London, kunne grundvand uegnet til drikkevandsforsyning bruges som rygrad i multihallens forsyning af vand til toilet- og urinalskyl, suppleret af regn og recirkuleret vand. Oppumpningen afhjalp et område, der har problemer med stigende grundvandstand.

På Amagerværket produceres årligt 350.000 m<sup>3</sup> kedelvand gennem afsaltning af vand fra grundvandssænkningen omkring øresundsforbindelsens landanlæg suppleret af havvand fra Øresund (Rostgaard 2007). Amagerværket betaler ikke for hav- og afværge vandet og der skal derfor kun betales for driften af afsaltningen. Afværge vandet har en lavere

salinitet end havvandet og er derfor billigere at afsalte. Anlægget har en traditionel omvendt osmose konfiguration med kloring, sandfiltrering, fjernelse af klor med bisulfit, kertefiltre og omvendt osmose. Da anlægget er relativt gammelt (1994-95) og ikke udstyret med trykgenindvinding, som nu er standard, var det både en dyr investering og effektiviteten er ikke på højde med moderne afsaltningsanlæg, som beskrevet i afsnit 6.4. Sammen med den relative lille størrelse af anlægget forklarer effektiviteten formentlig de høje omkostninger på 7-8 kr./m<sup>3</sup>, der er eksklusive investering.

### 6.3.2 Teknik og økonomi

Teknikken varierer afhængig af brug og forurening af afværge vandet. I de to beskrevne cases behandles vandet intensivt med omvendt osmose, hvilket dog ikke forventes at være nødvendigt i alle tilfælde, hvor vandet benyttes som sekundær vandforsyning. Begge steder er der tale om en relativt dyr proces (>7 kr./m<sup>3</sup>).

### 6.3.3 Afværge vand og København

Eksemplerne fra Millenium Dome og Amagerværket (Tabel 6.2) illustrerer 2 forskellige muligheder for at anvende afværge vand i København. Forurenede vand kan efter behandling bruges som fødevand til processer, der kræver ultrarent vand, og hvor forsyningsvand alligevel ikke er rent nok. Alternativt kan en ringere vandkvalitet udnyttes som sekundær vandforsyning til toiletskyl (ikke ulig sekundær vandforsyning baseret på recirkuleret spildevand). Afværge vand vil derigennem kunne øge selvforsyningsgraden af København, men potentialet er lille, da afværge vandsmængden i København kun udgør 1,5 mio. m<sup>3</sup>/år (Hauger & Binning 2006). Af denne mængde vil kun en mindre del være økonomisk og teknisk fordelagtig at anvende, og der er derfor kun tale om et muligt supplement til vandforsyningen. Det nøjagtige potentiale af afværge vandet afhænger blandt andet af tidshorisonten og placeringen af de enkelte borer.

## 6.4 Afsaltning

Det er en udbredt opfattelse, at afsaltning af havvand og brakke vandressourcer er dyrt og energikrævende, hvilket er kun delvist sandt. Indenfor det seneste årti er afsaltning ved brug af membranprocesser blevet så effektive, at omkostningerne nærmer sig konventionel vandforsyning (Tabel 6.3). Væsentlige fortrin ved afsaltning er klimaafhængigheden, der skyldes havvandsressourcens størrelse, og at anlæggene kan etableres relativt hurtigt (18-24 måneder i case 14 og 15) når først indledende pilotforsøg har bestemt designkriterierne på det pågældende sted.

**Tabel 6.3. Afsaltningsprojekter blandt de udvalgte cases (Bilag B). Eksemplerne benytter alle omvendt osmose til afsaltning af havvand.**

Case eksempler (referenceår)	Nøgletal produktion af afsaltet havvand
11 Singapore (2006)	> 40 mio. m <sup>3</sup> /år (~10 % af vandforbrug) 3-5 kr./m <sup>3</sup> 4 kWh/m <sup>3</sup>
14 Perth, Australien (CO <sub>2</sub> -neutral, 2006)	45 mio. m <sup>3</sup> /år (~17 % af vandforbrug) 4,5 kr./m <sup>3</sup> 4 kWh/m <sup>3</sup>
15 Gold Coast, Australien (2007)	46 mio. m <sup>3</sup> /år (deles med øvrige kommuner i regionen) 4 kr./m <sup>3</sup> 5,1 kWh/m (inkl. distribution)

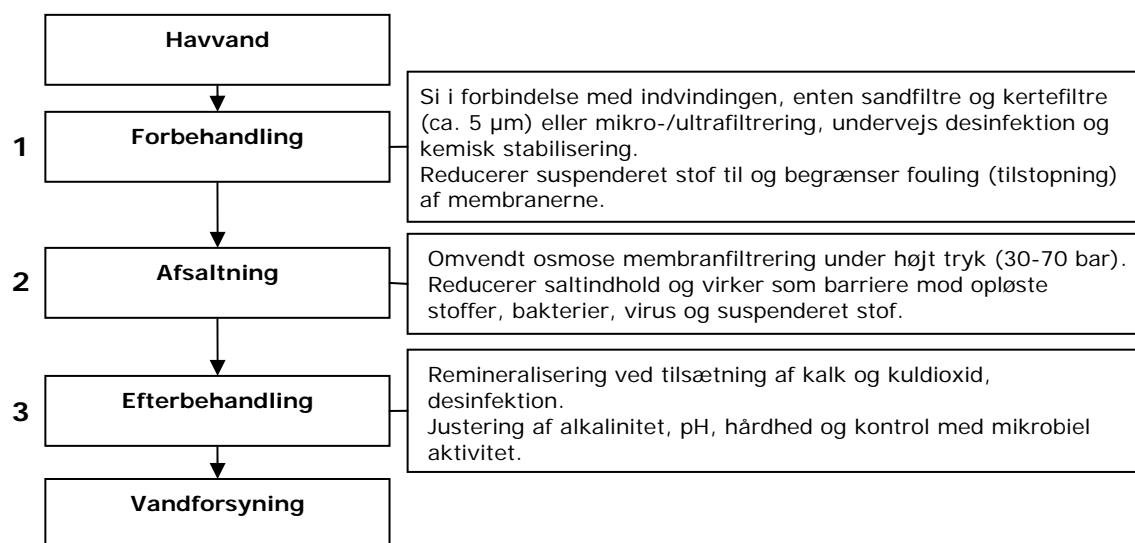
### 6.4.1 Anvendelse

Et afsaltningsanlæg kan levere drikkevand af høj anerkendt kvalitet, hvorfor det anvendes som rygrad i flere vandforsyninger (case 11, 14 og 15). Klima-uafhængigheden<sup>4</sup> og en forventning om at forbrugernes accept er større for afsaltning end recirkulering, har også gjort store afsaltningsanlæg til et foretrukken beredskab i langvarige tørkesituationer (case 15, 30 og 80). De beskrevne anlæg (Tabel 6.3) har alle produktioner over 10 millioner m<sup>3</sup>/år, hvilket giver væsentlige stordriftsfordele på omkostningerne, samtidig med at der er tale om en størrelse hvor anlægget indgår i vandforsyningens rygrad (Pankratz 2005).

Efter remineralisering smager afsaltet vand som meget andet vand og forbrugers opfattelse af vandet afhænger formentlig af kombinationen af den færdige saltsammensætning og personlige præferencer. I områder, hvor vandet har et højt saltindhold, er afsaltning ofte omtalt som en forbedring af smagen og vandkvaliteten (Case 5; Cooley, Gleick, & Wolff 2006). En taiwansk smagstest kunne ikke entydigt afklare om smagen var værre eller bedre end konventionelt hanevand eller flaskevand (Lou, Lee, & Han 2007).

### 6.4.2 Teknik og økonomi

Figur 6.4 viser den typiske sekvens af membranbaseret afsaltning. De største variationer findes i forbehandlingen, der er meget afhængig af lokale forhold. Derfor udføres ofte pilotforsøg inden implementering af fuldskalaanlæggene.



**Figur 6.4. Skematisk fremstilling af afsaltning, som det typisk ser ud i de udvalgte cases (Case 11, 14 og 15).**

Efterbehandlingen af vandet er en essentiel del af processen, og der kan være en betydelig udfordring i at sikre et ikke-korrosivt og stabilt produkt i forbindelse med opblanding med øvrige drikkevandskvaliteter (Imran et al. 2005; Taylor et al. 2005). Anlægget i Perth (case 14) er repræsentativt for store afsaltningsanlæg og producerer drikkevand for ca. 4,5 kr./m<sup>3</sup> med et energiforbrug på ca. 4 kWh/m<sup>3</sup> (Tabel 6.3). Elforbruget er erklæret CO<sub>2</sub>-neutralt<sup>5</sup> ved at konstruere en vindmøllepark, med en kapacitet svarende til forbruget ved afsaltningen. Der findes andre eksempler på CO<sub>2</sub>-neutral afsaltning, blandt andet et pilot-

<sup>4</sup> Klima-uafhængigheden forstås her som en vandressource, hvis tilgængelighed ikke afgøres af nedbørsvariationer forårsaget af klimavariationer.

I Bilag B bemærkes det at betegnelsen "CO<sub>2</sub>-neutral" er en problematisk størrelse.

projekt, der er baseret på bølgeenergi (case 25). Afsaltning af havvand medfører en stor mængde koncentrat, der oftest sendes tilbage til havet, se afsnit 7.3.2.

### 6.4.3 Afsaltning og København

De nævnte eksempler på afsaltningsanlæg er alle store nok til alene at dække hele Københavns vandforbrug på godt 30 mio. m<sup>3</sup>/år. En CO<sub>2</sub>-neutral (eller ligefrem miljø-neutral) vandforsyning baseret på havvand er relevant, da der så ikke længere vil være en reel begrænsning på den tilgængelige ressource, samtidigt med at den energikrævende proces ikke bidrager til drivhuseffekten. CO<sub>2</sub>-neutraliteten er dog kun reel, hvis de vedvarende energikilder er en konsekvens alene af afsaltningsprojektet. Det er værd at nævne, at den lave salinitet i det sydlige Øresund (~11 ‰) gør det muligt at afsalte vand for <2 kWh/m<sup>3</sup> og til en forventet produktionspris under 5 kr./m<sup>3</sup> for en produktionsstørrelse omkring 10 mio. m<sup>3</sup>/år (Rygaard & Tengnagel 2005). Afsaltning fungerer både som rygrad eller supplement til vandforsyningen og har den fordel at anlæggene ofte er modulært opbygget, så de kan op- og nedskaleres efter behov.

## 6.5 Regnvand

I denne forbindelse tænkes regnvandsressourcen som den nedbør, der normalt afledes via afløb i byområdet. Opsamlingen af regnvand foregår både på central og lokal skala.

**Tabel 6.4. Udvalgte cases med regnvand (Bilag B).**

Case eksempler (referenceår)	Nøgletal for regnvandsopsamling
1 Stenløse Syd, Danmark (2007)	Dækker ca. 25 % af husholdningsforbruget
3 Millenium Dome, Storbritannien (2000)	13.100 m <sup>3</sup> /år eller 10 % af vandforbruget i multihal (19 %-vol af toilet- og urinalskyl)
7 Potsdammer Platz, Tyskland (2006)	Afstrømning reduceret med 75 %
11 Singapore (2007)	2/3 af landet leder regnvand til reservoirer
12 Seoul, Korea (2007)	Ukendt størrelse på opsamling
15 Gold Coast, Australien (2006)	7,3 mio. m <sup>3</sup> /år, svarende til 8 % af vandforbruget (Dog 29 % i delområdet Pimpama-Coomera)

### 6.5.1 Anvendelse

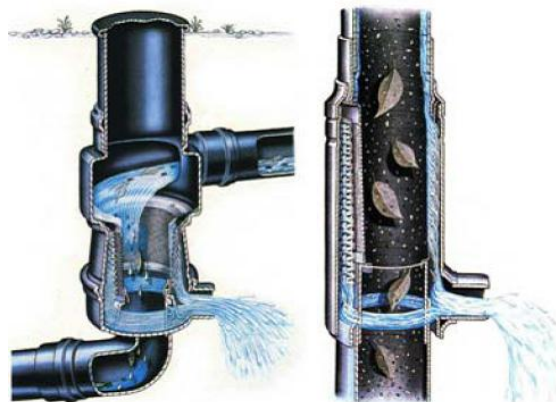
I Singapore opsamles regnvandet med henblik på at indgå i den centrale drikkevandsforsyning. Det er planen, at afløb fra 90 % af oplandet skal opsamles i store regnvandsreservoir (case 11). I de øvrige cases anvendes regnvandsopsamling som en supplerende lokal vandforsyning til tøjvask, toiletskyl og vanding. Det kendes allerede fra flere danske eksempler (case 1, 38, 39 og 45). Opsamlet regnvand indgår også i varmtvandsforsyningen i Pimpama-Coomera (case 15). I nogle tilfælde er det primære formål med regnvandsopsamlingen at udjævne afløbet fra kraftige regnskyl, snarere end at supplere vandforsyningen (case 7 og 12). I Seoul bæres et regnvandsmanagement-program igennem som løsning på et alvorligt problem med ekstreme nedbørshændelser. En udbredt installation af små og store regnvandsbeholdere vil forsinke og derved udjævne afløbet fra byen med mindre risiko for oversvømmelser. Det betragtes som en yderligere fordel, at der samtidig opsamles vand, som kan benyttes som erstatning for den konventionelle vandforsyning (case 12). Regnvandsopsamling ved nybyggeri er obligatorisk i flere af de udvalgte cases (case 1, 12 og 15).



### 6.5.2 Teknik og økonomi

Når vandet opsamles til sekundær vandforsyning er kravene til behandling ofte simple. I Stenløse syd foregår opsamlingen fra hustagene og vandet filtreres i et cyklon- eller lodretfilter, se Figur 6.5. Af de udvalgte cases er Potsdamer Platz (case 7) det mest avancerede opsamlingsanlæg med rensning af vand i biotoper. Systemet er vurderet til at være en succes, fordi eksperter fra forskellige discipliner indenfor vandteknik og –økologi var tilknyttet projektet tidligt i processen.

Et væsentligt problem er, at beholdervolumen sætter en begrænsning på mængden af det opsamlede vand, som det var tilfældet i Millenium Dome, hvor der trods et kæmpe tag, ikke kunne opsamles vand til mere end 10 % af forbruget i bygningen (case 3). Dertil er regnvandsopsamling meget klimaafhængig og ydeevnen varierer med nedbørsintensitet og frekvens.



Figur 6.5. Cyklon- og lodretfilter til rensning af regnvand. Fra (Miljøstyrelsen 2002).

Installeringen af regnvandsopsamling koster 40-50.000 kr./bolig i Stenløse Syd og det forventes at spare ca. 25 % af det årlige drikkevandsvandforbrug. De økonomiske besparelser på vandforsyningsdelen er ikke store nok til at forsvare investeringen i sig selv. Regnvandsopsamlingen i Stenløse Syd er dog også et resultat af en integreret kommunal miljøpolitik, der søger at kontrollere udløb til en lokal å og samtidig spare drikkevand (case 1). Lignende integrerede tankegange bruges andre steder (case 7 og 12) og det giver ikke nødvendigvis mening at anlægge en økonomisk betragtning på vandforsyningsdelen alene.

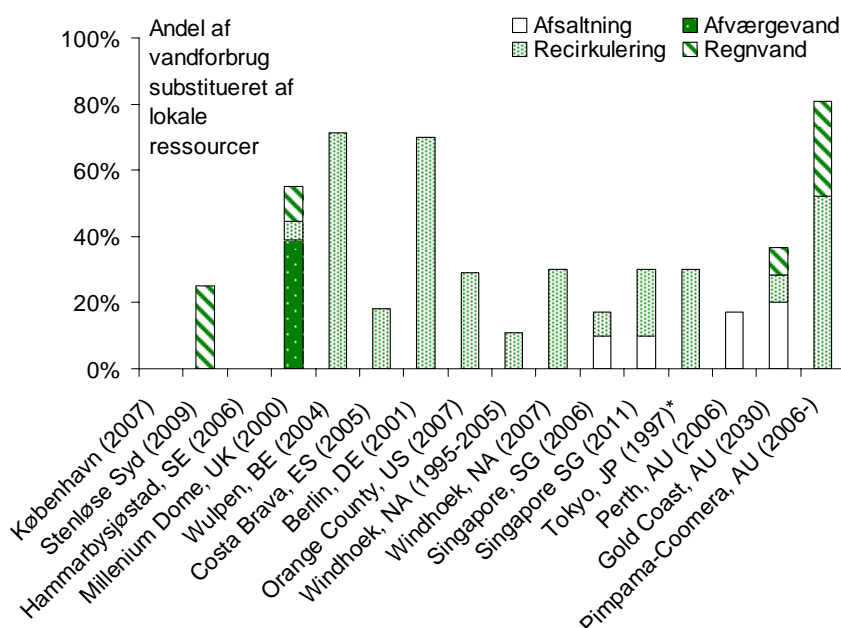
### 6.5.3 Regnvand og København

Ideen med regnvandsbeholdere har relevans for København, hvor kombination af udjævning af afløbsvariationen og supplerende vandforsyning er interessant i lyset af de seneste års store investeringer i forsinkelsesbassiner til afløbssystemet. Det er tidligere vurderet, at der kan opsamles ca. 6,9 mio. m<sup>3</sup>/år fra Københavnske tage, hvis vel at mærke alt vand opsamles. Mængden svarer til 21 % af det nuværende drikkevandsforbrug (Hauger & Binning 2006). Da det er vanskeligt i praksis at opsamle alt regnvand vil supplementet fra regnvandsopsamling dog være væsentligt lavere. En 25 % reduktion af husholdningsforbruget i udvalgte boligområder, vil dog stadig kunne have betydning for byens selvforsyningsgrad. En reduktion i den størrelsesorden kræver dog installation af regnvandsopsamling i både eksisterende bygninger og nybyggeri.

## 6.6 Opsummering af ressourcealternativer

Baseret på opgørelserne om udnyttelsesgraden af alternative vandressourcer i Bilag B, er det muligt at give et mål for graden af selvforsyning i den enkelte case. Denne ”uafhængighedsgrad” kan forstås som andelen af lokalt vandforbrug, der erstattes af alternative lokale vandressourcer (Figur 6.6). Erstatningen fungerer enten ved direkte brug af ressourcen eller ved tilbageførsel af vand til konventionelle ressourcer. 3 cases har uafhængighedsgrader på 70 % eller mere, og det bemærkes, at de repræsenterer et mindre bysamfund (case 4), storbyen (case 6) og nybyggeriet (case 15). I alle tre tilfælde giver recirkuleret vand det største bidrag. Pimpama-Coomera (case 15) er det område der er mest uafhængigt af konventionelle drikkevandsressourcer.

Det er muligt at opnå en høj uafhængighedsgrad uanset byens udformning og især recirkulering og afsaltning kan bidrage som en del af rygraden, mens regnvand og afværgvand kan fungere som supplement i delområder af byen.



**Figur 6.6.** Andel af lokalt vandforbrug, der erstattes af de alternative vandressourcer: afsaltning, afværgvand, lokal regnvandsopsamling og recirkulering af spildevand som beskrevet i Bilag B. (\*Udvalgte institutions og erhvervsforbrugere i Tokyo).

Tabel 6.5 er en kort opsummering af fordele og ulemper af de forskellige ressourcer, set i en Københavnsk kontekst.

**Tabel 6.5. Opsummering af konklusioner for tiltag og ressourcer i forhold til København.**

Mulige tiltag og ressourcer	Egenskaber	Funktionspotentiale
Vandbesparelser i husholdninger	Det nuværende husholdningsforbrug (121 l/p/d) er væsentligt højere end minimumskravet til udviklingslande (50 l/p/d) og højere end Berlins nuværende husholdningsforbrug på 110 l/p/d.  Københavneres vandforbrug er allerede væsentligt lavere end i de fleste andre storbyer og der kan ikke erfares meget om reduktioner fra de internationale eksempler.	<i>Supplement</i>
Afsaltning	Afsaltning af havvand er en klimauafhængig vandressource, der kan etableres på ganske kort tid (< 2 år).  Processen er energikrævende (1,5-4 kWh/m <sup>3</sup> ) og kræver forbrugers accept af at drikke rensset havvand.	<i>Rygrad</i> <i>Supplement</i> <i>Beredskab (på længere sigt)</i>
Afværgvand	Afværgvand kan udnyttes i tilfælde, hvor store mængder vand er nødvendige til ikke-drikkevandsformål.  Der er kun 1,5 mio. m <sup>3</sup> afværgvand at hente i Københavns Kommune og deraf kan bedst udnyttes den del, der afværges permanent.	<i>Supplement</i>
Recirkulering til drikkevandsbrug	Recirkulering af højtrånet spildevand via Sjællands akvifer, kan tilgodese både naturgenopretning og vandforsyning. Systemet kræver ikke et separat distributionsnet til recirkuleret vand. Renset spildevand er en delvis klimauafhængig vandressource.  Recirkulering af spildevand er et meget følsomt emne i forhold til forbrugeraccept. Rensningen er energikrævende (~1 kWh/m <sup>3</sup> ) og der er rejst tvivl om risikoen for at ukendte uønskede stoffer, som f.eks. patogener, farmaceutika og toksiske nano-partikler tilbageføres i vandforsyningen.	<i>Rygrad</i> <i>Supplement</i>
Recirkulering til ikke-drikkevandsbrug	Når vandet ikke skal drikkes, bliver det nemmere for forbrugeren at acceptere recirkulering, og der stilles færre krav til rensningsintensiteten. En simplere behandling vil medføre lavere energi- og driftsomkostninger end recirkulering til drikkevandsbrug. Renset spildevand er en delvis klimauafhængig vandressource.  Et 2-strengt system skal først installeres og kræver mere vedligeholdelse, end det nuværende system. Der vil være en begrænset risiko for at folk ved uheld indtager vand, der ikke er ment som drikkevand.	<i>Supplement</i>
Regnvand	Kan kombinere afløbskontrol med vandforsyning. Kan fungere som lokal sekundær vandforsyning. Er allerede i brug i Danmark.  Regnvand kræver store beholdervolumener og er meget klimaafhængig. Kan ikke udgøre rygraden af Københavns vandforsyning.	<i>Supplement</i>

## 7 Vandpolitik og planlægning

Ud over de tekniske aspekter er også politik og planlægning, herunder drivkræfter, samarbejdet med offentligheden og håndteringen af risici, væsentlige aspekter bag brugen af alternative vandressourcer.

### 7.1 Drivkræfter

Der er fem primære drivkræfter, som går igen i casebeskrivelserne (Tabel 7.1): Tørke, befolkningstilvækst, miljøhensyn, ønske om uafhængighed af vandimport og begrænsninger sat på infrastrukturen. De første fire skaber alle en form for vandmangel, enten direkte via tørke og øget forbrug eller indirekte ved et ønske om at allokere vandressourcer til miljøformål eller være uafhængig af importeret vand. Det er ikke muligt at se et mønster i hvilke drivkræfter, der fører til hvilke tiltag. Begrænsninger på infrastruktur og ønsket om afløbskontrol er en femte drivkraft, der i flere tilfælde er medvirkende til, at der installeres regnvandsopsamling (case 1, 7 og 12).

**Tabel 7.1. Primære drivkræfter bag alternative vandressourcer i de udvalgte cases (Bilag B).**

Drivkræfter	Case eksempler
Vandmangel	
<ul style="list-style-type: none"> <li><i>Direkte</i> på grund af: Tørke (mindsket ressource) Befolkningstilvækst (øget forbrug)</li> </ul>	3, 4, 5, 8, 9, 10, 12, 13, 14, 15
<ul style="list-style-type: none"> <li><i>Indirekte</i> på grund af: Miljøhensyn (naturgenopretning) Ønske om uafhængighed af vandimport (fra byens opland/udlandet)</li> </ul>	5, 11
Begrænsninger på infrastruktur	1, 7, 12, 13
<ul style="list-style-type: none"> <li>Ønske om afløbskontrol og –begrænsning, f.eks. installation af regnvandsopsamling for at undgå overløb til recipienter</li> </ul>	

#### 7.1.1 Integreret vandforvaltning

Flere cases demonstrerer, hvordan alternative vandressourcer og forsyninger tjener flere samtidige formål end alene at øge den direkte tilgængelige ressource. I Orange County bruges det superrensede spildevand til at øge den tilgængelige grundvandssressource, samtidig med at saltvandsindtrængning begrænses med en ferskvandbarriere. I Seoul tjener regnvandsopsamlingen først og fremmest som afløbsforsinkelse og dernæst som alternativ vandressource. Det er gode eksempler på den integrerede vandhåndtering, som flere organisationer, har agiteret for i det seneste årti (Global water Partnership 2007).

### 7.2 Inddragelse af offentligheden

Da vandforsyningen berører alle dele af samfundet, er der ofte mange hensyn at tage blandt en blandet skare af forbrugere. Dette medfører ofte offentlig debat og diskussioner af, hvad der er en acceptabel vandkvalitet.

#### 7.2.1 Offentlig debat

Erfaringsopsamlingen har involveret et par cases, hvor offentlige debatter har haft indflydelse på valget vandressourcestrategier.

### Sagen i Toowoomba

I Toowoomba, Australien<sup>6</sup>, fremlagde bystyret en plan for anvendelsen af recirkuleret spildevand som en del af drikkevandsforsyningen. Planen blev mødt af store protester, og efter 10.000 underskrifter og pres fra statens regering indvilgede bystyret i at lade beslutningen afgøres af en folkeafstemning. Inden afstemningen fastslog en uafhængig teknisk og økonomisk rådgiver, at recirkulering er en foretrukken løsning i forhold til omkostninger og driftssikkerhed (Parsons Brinckerhoff 2006). 68 % af sagde nej til recirkuleret vand som drikkevand, og bystyret lod forslaget falde.<sup>7</sup> Det er vanskeligt at evaluere lødigheden af alle argumenterne for og imod recirkulering i Toowoomba (Tabel 7.2), da det kræver detaljeret indsigt i de lokale forhold. En række af nej-sigernes kritikpunkter var dog svagt funderet og uden referencer, f.eks. påstande om, at 25 % recirkulering er unikt højt og at der risikeres et økonomisk tilbageslag for byen. Lignende recirkuleringsrater findes i casene 4, 6 og 10 og det er svært at se tegn på negative vækstrater i eksempler på recirkulering (case 8, 10, 11). Kritikpunkterne vedrørende en mangelfuld planlægning, uholdbar budgettering og manglende offentlighed er ikke relateret til konceptet recirkulering, men rammerne for planlægningen. Usikkerheden, forbundet med effektiviteten af barriererne mod ukendte toksiske stoffer og patogener, er således det tunge tilbageværende argument mod recirkulering (afsnit 7.3). Også Costa Brava i Spanien har oplevet en offentlig debat, der har haft væsentlig indflydelse på deres vandhåndtering (case 5).

---

<sup>6</sup>120.000 indbyggere, Queensland, ca. 110 km fra kysten.

<sup>7</sup> Ikke desto mindre ser det ud til, at folk i staten, hvor Toowoomba ligger, får recirkuleret vand i deres vandforsyning, uanset om de vil det eller ej (case 15).

**Tabel 7.2. Resume af afstemningsdebattens argumenter for og imod brugen af recirkuleret vand som drikkevandsressource i Toowoomba, Australien (Toowoomba City Council 2006).**

***"Do you support the addition of purified recycled water to Toowoomba's water supply via Cooby Dam as proposed by Water Futures – Toowoomba?"***

**Argumenter for et "ja" til ovenstående spørgsmål:**

Der er brug for en ny vandressource på grund af vækst og klimaforandringer.

En lang række alternativer inklusiv recirkulering, regnvandsopsamling, nye ferskvandindvindinger, vandimport og dæmninger er blevet evalueret, hvoraf recirkulering er den billigste løsning.

Recirkuleret vand vil passere 7 barrierer inden det drikkes: Spildevandsrensning, ultrafiltrering, omvendt osmose, UV-desinfektion, avanceret oxidation, opblanding med overfladevand og konventionel drikkevandsbehandling.

Koncentrationer af uønskede stoffer som bakterier, virus, hormoner, medicin mm. vil være under detektionsgrænsen eller væsentligt lavere end koncentrationer, der kan være sundhedsskadelige.

Recirkulering foregår mange andre steder rundt omkring i verden og uden negative økonomiske konsekvenser for områderne.

**Argumenter for et "nej" til ovenstående spørgsmål:**

Minimum 25 % af det vand, der bruges til drikke, personlig hygiejne, madlavning mm. vil være udløb fra et spildevandsanlæg.

25 % recirkuleret vand er en højere andel af drikkevandsforsyningen, end noget andet sted.

Der findes endnu ikke dokumentation for, at vandet er fuldstændigt sikkert at drikke, og vandet vil indeholde rester af ukendte kemikalier.

Recirkuleringsplanen er udviklet i hemmelighed og uden involvering af borgerne.

Planen er mangelfuld, og økonomien bag den holder ikke.

Recirkuleringen vil ødelægge Toowoombas ry som en ren og grøn by og have negative økonomiske konsekvenser for byen og dens borgere.

Tragedierne med thalidomid, asbest og kogalskab er alle resultatet af ignorance overfor langtidseffekter af ny videnskab.

## 7.2.2 Håndtering af debat og offentligheden

Eksemplet fra Toowoomba viser, at det er vigtigt med en god kommunikation omkring større ændringer i vandhåndteringen. Derved forhindres anklager om hemmelige planer, og tvivl om økonomiske sammenhænge kan forhåbentligt klarlægges inden beslutninger tages. Det er formentlig derfor, at flere af de udvalgte cases satser massivt på PR-delen af vandprojekterne. I flere af de store projekter er der meget information at hente på projekthjemmesiderne (case 8, 10, 11, 14 og 15). Især eksemplerne fra Australien (case 14 og 15) stiller store mængder rapporter og informationsblade til rådighed på deres hjemmesider. Dette giver indtryk af åbenhed, samtidig med, at det er med til at styre informationsstrømmen fra projekterne.

Kontrol med information til offentligheden er netop en kompetence, som kommunikationsdirektøren i Orange County Water District, USA, (case 8) er kendt for.<sup>8</sup> Både i casene fra USA og Australien inviteres borgerne til at deltage i følgegrupper, der løbende kan kommentere projekternes forløb, hvilket giver planlæggere og beslutningstagere indsigt i borgernes behov for oplysning og deres bekymringer. I Singapore er der udført et stort kommunikationsarbejde via professionelle netværk og udstillingscentre, der har gjort byen kendt som "water hub" blandt professionelle og samtidigt skabt et meget stærkt "brand" for deres recirkulerede vand NEWater (case 11). Terminologien i Singapore er også interessant, med et skift fra negativt eller neutralt ladede ord som "waste water", "wastewater plant" og "recycled wastewater", til overvejende positive betegnelser som "water reclamation plants", "used water" og "NEWater".

<sup>8</sup> OCWDs kommunikationsdirektør Ron Wildermuth var inden jobbet hos OCWD Chief Public Affairs Officer for U.S. Central Command under den første gulfkrig.

Herhjemme (og i mindre skala) har Egedal Kommune også været aktive omkring oplysningen af borgerne om miljøkravene til deres husbyggeri, når rådgivere og entreprenører ikke nødvendigvis kunne vejlede tilstrækkeligt (case 1).

Skal der til at ske større ændringer af vandplanerne for København, er det vigtigt, at det bliver kommunikeret ud i god tid og i dialog med borgerne. Derved begrænses risikoen for, at planer falder til jorden på grund af mistro til beslutningstagerne og anklager om manglende gennemsigtighed i processen, som tilfældet i Toowoomba. Er det tidligt i processen erkendt, at nye tiltag kan involvere kontroversielle beslutninger (som f.eks. afsaltning og recirkulering), kan eksemplerne fra Gold Coast, Perth og Singapore bruges som inspiration for, hvordan borgere involveres og informeres.

### **7.2.3 Opfattelse af vandhåndtering og vandkvalitet**

En væsentlig opgave for vandforsyningerne er at leve op til den offentlige opfattelse af en god vandforsyning, herunder også offentlighedens subjektive opfattelse af hvornår der er tale om ”godt vand”. Der er tydeligvis et indbygget dilemma i håndteringen af vandforsyning og -ressourcer:

*”On one hand people want to consume water that is alive, natural and unadulterated by culture. On the other, they plainly want enough control that water supplies are secure and convenient”* (Citat: Strang 2004 s. 117).

Når man begynder at afsalte havvand eller recirkulere spildevand til drikkevandsbrug via avancerede tekniske processer, får man en ny vandressource på bekostning af ressourcens naturlighed. Noget af denne naturlighed kan man tilføje igen ved opblanding i ”naturlige” ressourcer, som forklaret i afsnit 6.2 (Figur 6.3). De udvalgte cases viser dog, at man flere steder går på kompromis med denne naturlighed.

#### **Flaskevand**

I de fleste udvalgte cases er der et stort og stadigt voksende forbrug af flaskevand. Store flaskevandssalg findes især i Belgien og Tyskland (case 4 og 6). Det kan tages som udtryk for en skepsis overfor vandforsyningen, men kan også skyldes et andet forbrugsmønster af drikke, end det vi kender herhjemme fra. I flere af de udvalgte cases er det enten vist ved undersøgelser eller generelt antaget fra vandforsyningens side, at forbrugerne er glade for vandet og drikker det fra hanen. Dette er også tilfældet for cases, der anvender (kloreret) recirkuleret spildevand og afsaltet havvand i drikkevandsforsyningen (case 4, 10, 11 og 14). Omvendt er det anslået at flaskevandssalget er steget med 30 % et år efter NEWater blev indført i Singapore. En årlig vækstrate på 30 % er høj, men salg af flaskevand er kraftigt stigende og det er ikke til at sige hvor stor en del af de 30 %, der skyldes NEWater (Larsen & Arnold 2006).

### **7.3 Risici og håndtering af restprodukter**

Recirkulering af spildevand til drikkevandsbrug medfører en række risici, som er væsentligt anderledes, end det kendes fra en vandforsyning baseret på uforurennet grundvand. På samme måde er der andre risici forbundet med afsaltning af havvand, og brug af afværgevand og regnvand.

#### **7.3.1 Risici og vandkvalitet**

Verdenssundhedsorganisationen WHO arbejder på at udvikle retningslinier for Water Safety Plans, der gerne skulle skabe en standard for håndteringen af risici i forhold til drikkevandskvalitet (World Health Organization 2004). Water safety Plans trækker på

erfaringer fra risikomanagement, såsom multiple-barriers og HACCP.<sup>9</sup> Netop multiple-barrier er et koncept, der er beskrevet for flere af de udvalgte cases, der benytter spildevand som ressource. Spildevand er den mest ekstreme ressource i forhold til vandkvalitet, da det af natur indeholder alle former for uønskede stoffer.

### **Recirkulering og afsaltning til drikkevandsbrug**

Farmaceutika er de senere år kommet i fokus som uønskede stoffer (Heberer 2002), og sammen med nano-partikler udgør de en gruppe stoffer, hvis eksistens og opførsel i vandkredsløbet endnu ikke er klarlagt. For nanopartiklernes vedkommende er der end ikke udviklet økonomisk tilgængelige og pålidelige teknikker til at måle dem (Wiesner et al. 2006). Omvendt osmose-membraner fraseparerer nanopartikler og andre stoffer, der er større end ca. 1 nm i varierende grader. Passagen af molekyler er en funktion af blandt andet temperatur, koncentrationen af stoffet på koncentrationsiden af membranen, molekylegenskaber mm. (Beier 2006; Dow 2005). I de udvalgte cases, hvor der foregår recirkulering af spildevand, er der udført undersøgelser af effektiviteten af barriererne mod overførsel af uønskede stoffer til drikkevandsforsyningen. I 3 cases har uafhængige eksperter, efter det er konstateret at enkelte uønskede stoffer passerer barriererne, sagt god for vandkvaliteten, med den begrundelse, at koncentrationerne er meget lave (ofte nær detektionsgrænsen) eller væsentlig lavere end niveauer, der forventes at være sundhedsskadelige (case 6, 8 og 11). I øvrige cases er det vandforsyningerne selv, der garanterer for kvaliteten. Der henvises i nogle tilfælde til, at recirkuleringen leverer vand af en højere kvalitet end konventionel vandforsyning, der ikke indeholder de samme barrierer (case 5 og 10).

I det tilfælde at der ikke benyttes nano- eller omvendt osmose-membraner i recirkuleringsprocessen, er der yderligere risiko for ophobning af salte i vandforsyningen, som følge af kontinuerlig tilførsel af salte via husholdningsspildevandet (case 10).

Den danske vandforsyning har en åbenlys fordel i at være baseret på uforurennet grundvand. Benyttes der recirkuleret spildevand eller afsaltet havvand er det nødvendigt, at acceptere, at enkelte uønskede stoffer som farmaceutika og andre organiske stoffer optræder i vandforsyningen i meget lave koncentrationer. Om dette er acceptabelt beror på, hvor forsigtig man ønsker at være (Harremoës et al. 2002). Det er dog med denne erfaringsopsamling vist, at man i flere tilfælde, i stor skala og i industrialiserede lande anser risikoen for at være ubetydelig.

Risikoen må anses at være mindre, hvor spildevand benyttes som sekundær vandforsyning, især da vandet behandles til et niveau, hvor det ikke udgør en akut toksisk fare ved indtagelse (case 5, 13 og 15). Som det er nævnt, har det recirkulerede vand ofte lavere bakterietal end de fleste overfladevande, der også bruges til badning og vanding.

I alle de udvalgte cases findes der kloringsanlæg som efterbehandling af membranfiltreret vand. Det er dog ikke sikkert, at residualeffekten af klorering er et ufravigeligt krav i forbindelse med recirkulering.<sup>10</sup>

### **Regnvand og afværgvand**

Flere cases beskriver regnvandsanlæggene som uden risiko for forbrugeren, så længe de er tilsluttet korrekt. I casen fra Stenløse Syd (case 1) kontrollerer kommunens

---

<sup>9</sup> HACCP: Hazard Analysis Critical Control Point

<sup>10</sup> For en diskussion af fordele og ulemper ved forskellige desinfektionsteknikker i forbindelse med recirkulering, se f.eks. (Asano et al. 2007).



byggesagkyndige de tekniske tegninger og den færdige installation før og efter husbyggeriet. Risikoen ved brug af afværgvand må afhænge af, om det udgør en akut toksisk fare ved indtagelse og til hvilke formål, det bliver anvendt. Anvendes det til toiletskyl og industrivand som i de nævnte eksempler, er der tale om en begrænset risiko.

### 7.3.2 Udledning af koncentrat

I de avancerede rensningsprocesser, der er involveret i flere af casene, er der tale om store affaldsstrømme. Det er især koncentratet fra membranprocesser, der er relevant for både afsaltning af havvand og recirkulering af spildevand. Koncentratvolumen udgør typisk 20-50 % af permeatet (produktstrømmen) og salte og andre stoffer er blevet opkoncentreret som følge af behandlingen. I forbehandlingen af vandet til membranprocessen tilsættes en række kemikalier, som beskrevet i afsnit (6.4). I 3 udvalgte cases udledes koncentratet uden videre behandling til havet. I Singapore og Perth udledes koncentratet via diffuser-systemer, for at sikre en hurtig opblanding med de øvrige vandmasser (case 11 og 14).

I recirkuleringseksemplerne fra Wulpen og Orange County udledes koncentratet sammen med den eksisterende spildevandsudledning fra områderne (case 4 og 8). Udledningen af stof til recipienten er mindre end uden recirkuleringen, da koncentratet er mikro- eller ultrafiltreret som led i rensningsprocessen, hvorved der tilbageholdes yderligere materiale efter den konventionelle spildevandsrensning.

Inden fortyndingen og eventuel nedbrydning af de udledte stoffer kan det have konsekvenser for det lokale miljø omkring udledning, men det vurderes at være meget begrænset (Hoepner & Lattemann 2003; Strategen 2004). Det understreges dog, at konsekvenserne af koncentratudledning bør undersøges bedre og forandringer overvåges, efter udledningen at påbegyndes (Cooley, Gleick, & Wolff 2006).

De udvalgte cases viser, at man flere steder accepterer udledningen af koncentratet til havet, og at man ikke forventer, at det vil have negative konsekvenser for havmiljøet. Udledningen og effekter på det lokale havmiljø bør dog overvåges løbende, så der kan gribes ind i tilfælde af uforudsete problemer.

## 8 Konklusion

En screening af 113 cases, hvoraf 15 blev udvalgt til en nøjere analyse har vist, at der verden over findes flere eksempler på byområder, der har reduceret deres afhængighed af importerede vandressourcer. Dette er opnået ved at udnytte vandressourcer, som ikke bruges i konventionel dansk vandforsyning.

### Norden

Der er få eksempler på brug af alternative vandressourcer i de øvrige nordiske lande, hvilket forklares med landenes relativt store ferskvandsressource. Udnyttelsesgraden af den tilgængelige vandressource i Danmark er størrelsesordenen større end i de øvrige nordiske lande. Dette forhold begrænser mængden af erfaringer om brug af alternative ressourcer i vandforsyningen, der kan overføres fra det øvrige Norden til København.

### EU og det øvrige udland

I EU og den øvrige verden er der derimod udbredt brug af alternative vandressourcer. Hvor en Københavner belaster Sjællands ferskvandsressource med 100 % af sit forbrug, er der eksempler på byområder fra både EU og den øvrige verden, hvor alternative ressourcer substituerer mere end 70 % af forbruget og derved reducerer nettobelastning af vandressourcen til 30 %.

### Drivkræfter

Anvendelsen af alternative vandressourcer er ofte drevet af en kombination af befolkningstilvækst og klimatiske forhold, som for eksempel tørke. Politiske ønsker om naturgenopretning, uafhængighed af importerede ressourcer og begrænsninger på infrastrukturen har ligeledes medført skift i vandforsyningsstrukturen.

### Vandforbrug og vandbesparelser

I nogle af eksemplerne er vandforbruget meget højt (>200 l/p/d), og København kan derfor kun i ringe grad udnytte erfaringer fra andre lande til at reducere husholdningsforbruget. Derimod har det vist sig relevant at kigge på forskelle i ressourceanvendelsen.

### Recirkulering af spildevand

Det meget omtalte eksempel med recirkulering af spildevand i Singapore er langt fra enestående. Der er overraskende mange eksempler på recirkulering af rensset spildevand til drikkevandsressourcen, for eksempel via kunstig grundvandsinfiltration eller opblanding af rensset spildevand i overfladereservoirer. Der er således her vist eksempler fra byområder i Afrika, Asien, Europa og Nordamerika, hvor recirkuleret spildevand erstatter op til 70 % af den indvundne drikkevandsressource.

### Sekundær vandforsyning baseret på recirkuleret vand, regnvand og afværgevand

I nybyggede områder er der flere steder krav om obligatorisk regnvandsopsamling, og enkelte steder er der udbygget med en sekundær forsyning af recirkuleret spildevand. Begge dele fungerer som en supplerende vandforsyning, som typisk erstatter 25-30 % af drikkevandsforsyningen. Forurenet afværgevand fra en grundvandssænkning er ligeledes benyttet som supplerende vandforsyning, men der er tale om mindre mængder, der forsyner lokale områder. Eksemplerne viser, at supplerende systemer fungerer godt, når de er tænkt ind tidligt i processen og dermed bedst muligt integreret i projektet.

### **Afsaltning**

I kystnære byer bliver afsaltet havvand i stigende grad anvendt som et grundelement i vandforsyningen. Den energikrævende proces er forsøgt gjort CO<sub>2</sub>-neutral i et enkelt storskalaeksempel ved at opføre en vindmøllepark til at substituere det øgede energiforbrug.

### **Energiforbrug**

Generelt er de alternative vandressourcer energi- og/eller kapital-krævende, da der anvendes avanceret teknologi og energiforbrug rapporteres til 1-4 kWh pr produceret m<sup>3</sup> vand. Afsaltning er i de her beskrevne tilfælde den dyreste og mest energikrævende proces, men de præcise omkostninger afhænger meget af lokale forhold. Netop energiforbruget må antages at være genstand for et øget fokus fremover, som følge af opmærksomheden på menneskeskabte klimaforandringer.

### **Risici for folkesundheden**

Især recirkulering af spildevand medfører bekymring om ophobning af ukendte/umålte toksiske stoffer i drikkevandsforsyningen. I alle tilfælde benyttes flere hygiejniske barrierer, herunder membranprocesser, mod overførsel af toksiske stoffer og sygdomsfremkaldende mikroorganismer, der sandsynliggør at risikoen for skader på folkesundheden er meget lille. Flere byområder har levet med recirkuleret vand i årtier. Dog tilbagesår en betydelig udfordring med at sikre den løbende effektivitet og tillid til, at barriererne forhindrer uønskede stoffer i at nå drikkevandet.

### **Offentlighed og opfattelse af vandkvalitet**

Omkostninger, energiforbrug og risici er medvirkende til, at de beskrevne tiltag ofte skal implementeres i tæt dialog med befolkningen. Blandt de udvalgte cases er der eksempler på omfattende oplysningsprogrammer, der skal gøre befolkningen fortrolig med planlægning og processer bag vandforsyningen. Der tales om ”brugt vand” og ”nyt-vand” i stedet for spildevand og recirkuleret vand.

Der er ringe dokumentation for, hvordan de alternative vandressourcer påvirker flaskevandssalg som følge af folks ændrede opfattelse og smag for drikkevandet. Ofte kloses vandet, men det er uklart om kloring er et ufravigeligt krav i forbindelse med brugen af de alternative vandressourcer til drikkevandsforsyning.

### **Alternative vandressourcers potentiale for storbyer**

De nævnte tiltag har relevans for mange storbyer med pres på vandressourcen og kan udgøre et hovedelement eller være et mindre supplement i byens vandforsyning. Afsaltet havvand og recirkuleret spildevand kan direkte anvendes i drikkevandsforsyningen eventuelt efter opblanding med grundvand. Regnvand, afværgvand og recirkuleret spildevand kan udgøre en supplerende vandforsyning.

### **Erfaringernes relevans for København**

Overføres erfaringerne i en Københavnsk kontekst, er der gode muligheder for at øge Københavns selvforsyning ved at implementere tiltag, som dem der er beskrevet i denne erfaringsopsamling. Hele systemet kan udbygges løbende i henhold til en masterplan for Københavns vandforsyning, der lægger en strategi for vandhåndteringen i årtier fremover. Et sådan system er skitseret i Tabel 8.1.

**Tabel 8.1 Forslag til et selvforsynende København i 2057 baseret på de indsamlede erfaringer.**

<b>Vandforsyningsdel</b>	<b>Tiltag</b>	<b>Case-eksempler</b>
<b>Rygrad</b> (primær vandressource)	20 % Naturligt grundvand (kompenseret for gennem naturgenopretning)	
	20 % CO <sub>2</sub> -neutral recirkulering via grundvandsressourcen	4, 6, 8, 9, 11
	30 % CO <sub>2</sub> -neutral afsaltning af øresundsvand	14
<b>Supplement</b>	10 % Vandbesparelser	6
	10 % Obligatorisk regnvandsopsamling i nye bydele.	1, 7, 12, 13, 15
	10 % recirkuleret spildevand og afværgevand distribueret som sekundær vandforsyning i nye bydele.	3, 13, 15
<b>Naturgenopretning</b> (delvis konsekvens af vandrammedirektiv)	Recirkuleret rensed spildevand returneres til søer og åer.	4, 5, 8
<b>Beredskab</b>	På kort sigt (timebasis): overkapacitet på grundvandsindvindingen	
	På længere sigt (måneder): Trinvis udbygning af afsaltningsanlægget.	
<b>Planlægning</b>	Samlet strategi for vandhåndtering samlet i masterplan for år 2057. Planlægning startet 2007.	11, 14, 15
	Kombinationen af ressourcer giver fleksibilitet overfor uforudsete hændelser, som f.eks. tørke eller ødelæggelse af en ressource.	

De angivne procentsatser er skønnede størrelser. Uanset den præcise størrelse af de enkelte ressourcer er konklusionen, at en fordeling og anvendelse af ressourcerne som i Tabel 8.1 kan betragtes som en reel mulighed for en alternativ og selvforsynende vandforsyning i København. Som denne erfaringsopsamling har vist, er lignende paradigmeskift og udvikling af vandforsyninger foregået i store byer verdenen over.

## 9 Referencer

Asano, T., Burton, F. L., Leverenz, H. L., Tsuchihashi, R., & Tchobanoglous, G. 2007, "Disinfection processes for water reuse applications," in *Water reuse. Issues, technologies, and applications*, 1st edn, Metcalf & Eddy, pp. 599-723.

AWA "The Tampa Bay Seawater Desalination Project", in *AWA Specialty Conference Membranes & Desalination Adelaide, 23-25 February*, Australian Water Association,  
[http://www.awa.asn.au/AM/Template.cfm?Section=Tampa\\_Bay](http://www.awa.asn.au/AM/Template.cfm?Section=Tampa_Bay).

Beier, S. P. 2006, *Pressure driven membrane processes*, 1 edn, [www.ventus.dk](http://www.ventus.dk).

Bjerg, P. L. Jord og grundvandsgrupper, M&R. 2007.  
Ref Type: Personal Communication

Cooley, H., Gleick, P. H., & Wolff, G. 2006, *Desalination, with a grain of salt*, Pacific institute for studies in development, environment and security.

Dow 2005, *Filmtec reverse osmosis membranes*, Dow liquid separations.

du Pisani, P. L. 2006, "Direct reclamation of potable water at Windhoek's Goreangab reclamation plant", *Desalination*, vol. 188, no. 1-3, pp. 79-88.

European Commission 2006, *Water reuse system management manual - AQUAREC* Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg.

European Parliament and Council. European water framework directive. 2000/60/EC. 2000.  
Ref Type: Bill/Resolution

Falkenmark, M. 2003, "Freshwater as shared between society and ecosystems: from divided approaches to integrated challenges", *Philosophical Transactions of the Royal Society of London Series B-Biological Sciences*, vol. 358, no. 1440, pp. 2037-2049.

FAO. AQUASTAT Information System on Water and Agriculture: Online database.  
<http://www.fao.org/waicent/faoinfo/agricult/agl/aglw/aquastat/dbase/index.stm> . 2005. Rome, Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) Land and Water Development Division.  
Ref Type: Electronic Citation

Gleick, P. H. 1996, "Basic water requirements for human activities: Meeting basic needs", *Water International*, vol. 21, no. 2, pp. 83-92.

Global Water Intelligence. Market Profile: Desalination Markets 2007 preview. Global Water Intelligence 7[10], 27-29. 2006.  
Ref Type: Magazine Article

Global water Partnership. Global Water Partnership. [www.gwpforum.org](http://www.gwpforum.org) . 2007.  
Ref Type: Electronic Citation

Harremoës, P., Gee, D., MacGarvin, M., Stirling, A., Keys, J., Wynne, B., & Guedes Vaz, S. 2002, *The precautionary principle in the 20th century: late lessons from early warnings* James & James/Earthscan.

Hauger, M. B. & Binning, P. J. 2006, *Overordnet kortlægning af nuværende ressourcer og forbrug, samt eksisterende renseteknologier indenfor vand- og spildevand*, Institut for Miljø og Ressourcer, Danmarks Tekniske Universitet.

Heberer, T. 2002, "Tracking persistent pharmaceutical residues from municipal sewage to drinking water", *Journal of Hydrology*, vol. 266, no. 3-4, pp. 175-189.

Henriksen, H. J. & Sonnenborg, A. 2003, *Ferskvandets kredsløb*, Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse.

Hochstrat, R., Wintgens, T., Melin, T., & Jeffrey, P. 2006, "Assessing the European wastewater reclamation and reuse potential - a scenario analysis", *Desalination*, vol. 188, no. 1-3, pp. 1-8.

Hoepner, T. & Lattemann, S. 2003, "Chemical impacts from seawater desalination plants - a case study of the northern Red Sea", *Desalination*, vol. 152, no. 1-3, pp. 133-140.

Imran, S. A., Dietz, J. D., Mutoti, G., Taylor, J. S., Randall, A. A., & Cooper, C. D. 2005, "Red water release in drinking water distribution systems", *Journal American Water Works Association*, vol. 97, no. 9, pp. 93-100.

Larsen, J. & Arnold, E. Bottled water: Pouring Resources Down the Drain. <http://www.earth-policy.org/Updates/2006/Update51.htm> . 2-2-2006. Earth Policy Institute. 2-1-2007.

Ref Type: Electronic Citation

Lou, J. C., Lee, W. L., & Han, J. Y. 2007, "Influence of alkalinity, hardness and dissolved solids on drinking water taste: A case study of consumer satisfaction", *Journal of Environmental Management*, vol. 82, no. 1, pp. 1-12.

Miljøstyrelsen 2002, *Fra taget til toiletet* Miljøministeriet.

Milliken, R. Australia's national water initiative is attempting to satisfy competitive demands from farmers, city dwellers and the environment. *Outback* [49], 38-42. 2006. 2006.

Ref Type: Magazine Article

Pankratz, T. M. 2005, *Desalination technology trends*, CH2M Hill Inc..

Parsons Brinckerhoff 2006, *Future Water Supply Options for Toowoomba City and Customer Shires Pre-feasibility Study*, Department of Natural Resources, Mines and Water, Queensland, Australia.

Po, M., Nancarrow, B. E., Leviston, Z., Porter, N. B., Syme, G. J., & Kaercher, J. D. 2005, *Predicting Community Behaviour in Relation to Wastewater Reuse. What Drives Decisions to Accept or Reject?*, CSIRO Land and Water, Perth, Australia.

Rambøll 2005, *Afværganlæg med infiltration i Københavns Amt. Undersøgelse af infiltrationsproblemer og mulige drifts- og anlægsforbedringer.*, Københavns Amt.

Rostgaard, H. Amagerværket, procesvand. 5-3-2007.

Ref Type: Personal Communication

Rygaard, M., Hauger, M. B., Eilersen, A. M., Albrechtsen, H.-J., & Binning, P. J. 2006, *Opstilling og analyse af 9 scenarier for fremtidens vand- og spildevandshåndtering i København*, Institut for Miljø og ressourcer, Danmarks Tekniske Universitet.

Rygaard, M. & Tegnagel, M. F. 2005, *The potential of augmenting Copenhagen's water supply with desalinated water from Vestamager*, MSc. Sci. Engineering, Institute of Environment & Resources, Technical University of Denmark.

Strang, V. 2004, *The meaning of water* Berg.

Strategen 2004, *Metropolitan desalination proposal: section 46 review*, Water Corporation.

Tal, A. 2006, "Seeking sustainability: Israel's evolving water management strategy", *Science*, vol. 313, no. 5790, pp. 1081-1084.

Taylor, J. S., Dietz, J., Randall, A., & Hong, S. 2005, "Impact of RO-desalted water on distribution water qualities", *Water Science and Technology*, vol. 51, no. 6-7, pp. 285-291.

Texas Water Development Board 2005, *The Texas manual on rainwater harvesting*, Texas Water Development Board, Austin, Texas, 3.

Toowoomba City Council. The 'Yes' and 'No' Cases.

[http://www.toowoomba.qld.gov.au/index.php?option=com\\_content&task=view&id=782&Itemid=333](http://www.toowoomba.qld.gov.au/index.php?option=com_content&task=view&id=782&Itemid=333) . 10-7-2006.

Ref Type: Electronic Citation

Wiesner, M. R., Lowry, G. V., Alvarez, P., Dionysiou, D., & Biswas, P. 2006, "Assessing the risks of manufactured nanomaterials", *Environmental Science & Technology*, vol. 40, no. 14, pp. 4336-4345.

World Health Organization 2004, *Guidelines for drinking-water quality : Volume 1. Recommendations*, 3rd ed. edn, World Health Organization.

## **Bilag A Bruttoliste**

Følgende tabel er en oversigt over de 113 cases, der ligger til grund for rapporten. De første 15 cases er de udvalgte cases. Derefter optræder casene i alfabetisk rækkefølge efter landenavn.



Sted og nr.	Tema	Pro/Contra (udvælgelse)	Primær reference
Stenløse Syd, Danmark (1)	Obligatorisk regnvandsopsamling af vand fra hustag og lokal infiltration	Storskala regnvandsopsamling i Danmark	<a href="http://www.stenlosesyd.dk">www.stenlosesyd.dk</a>
Hammarbysjöstad, Sverige (2)	Byøkologisk bydel, lokal håndtering af alt spildevand	Helhedsplan for en bydel inkl. drikkevand	<a href="http://www.hammarbysjostad.se">www.hammarbysjostad.se</a>
Millenium Dome, Storbritanien (3)	Regnvand, gråt spildevand og forurenede grundvand anvendes i toiletter og urinaler.	Et enkelt eksempel med brug af afværgvand	Hills et al.: The Millenium Dome "Watercycle" experiment. Water Science and Technology. Vol. 43 no. 10 2002
Wulpen, Belgien (4)	Wulpen spildevandsanlæg behandler 2,5 mio. m <sup>3</sup> /år pumper det i grundvandszonen (1-2 mdr) og bruger det som forsyning af drikkevandsreserven.	Europæisk eksempel på kunstig infiltration og spildevandsgebruget via infiltration i klitter.	<a href="http://www.iwva.be">www.iwva.be</a>
Costa Brava, Spanien (5)	CCB Costa Brava Water Agency: management of water cycle. Pioneers in water reuse.	Pionerer inden for spildevandsgebruget i Europa	Sala, L. og Serra, M: Water resource management on the Costa Brava. Water International (1999)
Berlin, Tyskland (6)	Groundwater recharge/bank infiltration	Berlin er et godt eksempel på indirekte recirkulering.	Heinzmann: Occurrence and behaviour of trace substances in the partly closed water cycles of Berlin and its relevance to drinking water. International workshop on rainwater and reclaimed water for urban sustainable water use. Tokyo, Japan Juni 2005 <a href="http://env.t.u-tokyo.ac.jp/furumailab/crest/e/index.htm">http://env.t.u-tokyo.ac.jp/furumailab/crest/e/index.htm</a>
Potsdamer Platz, Berlin (7)	Stort kontorhus der opsamler regnvand til toiletter og nærliggende grønne områder	Integreret brug af regnvand som afløbskontrol fra bymidte.	Dreiseitl et al: Waterscapes, planning, building and designing with water. Birkhäuser, Berlin 2001
Orange County Water District, USA (8)	Groundwater Replenishment (GWR) System (tidligere: Water Factory 21). Kunstig grundvandsinfiltration og saltvandsbarriere i storskala: ca 97 mio. m <sup>3</sup> /y til start, planlagt 180 mio. m <sup>3</sup> /y.	Et af pionerstederne inden for genanvendelse af spildevand, mange referer til anlægget. Ekstra dimension med saltvandsbarrieren som kan være interessant i KBH-sammenhæng.	<a href="http://www.gwrssystem.com">www.gwrssystem.com</a>
Rio Rancho, USA (9)	Membrane bio-reactor (MBR) system for water reuse in irrigation and indirect potable use by direct injection in the city's water supply aquifer.	Spændende med MBR-systemet. Anderledes end øvrige recirkuleringssystemer, hvor der benyttes konventionelle spildevandsrensningsteknikker,	<a href="http://www.ci.rio-rancho.nm.us">www.ci.rio-rancho.nm.us</a>
Windhoek, Namibia (10)	Direct waste water reuse for drinking water (35 years)	Eneste storskala direkte genbrug af spildevand som drikkevand. Lang tids erfaring	du Pisani: Direct reclamation of potable water at Windhoek's Goreangab reclamation plant. Desalination 188 2006
Singapore (11)	Omfattende langsigtet plan der skal gøre Singapore selvforsynende med drikkevand	et enestående eksempel på at gøre en storby uafhængig af importeret vand	Tortajada: Water management in Singapore. Water resources development, vol 22 (2) 2006
Seoul, Korea (12)	All new buildings must have rainwater tanks.	Tvungen regnvandsopsamling	Han: Proactive multipurpose rainwater management in Korea. RWHM Workshop, IWA 5th world water congress and exhibition, Beijing, Kina 2006
Tokyo, Japan (13)	Brug af recirkuleret spildevand er obligatorisk i alle nye bygninger over 30 000 m <sup>2</sup>	Både forvaltningsmæssige og tekniske aspekter gør dette eksempel interessant.	Yamagata et al: On-site water recycling systems in Japan. Water Science and Technology: Water Supply vol 3 no 3 2003
Perth, Australien (14)	Storskala afsaltningsanlæg	CO2 neutral afsaltning	<a href="http://www.watercorporation.com.au">www.watercorporation.com.au</a>
Gold Coast, Australien (15)	Australias largest (2006) integrated urban water cycle management program. 16 % drinking water, other needs covered by rainwater, recycled water and conservation makes up the difference.	Omfattende helhedsplan, flerstrengt forsyning og kombination af mange ressourcer	<a href="http://www.goldcoast.qld.gov.au/gcwater/">www.goldcoast.qld.gov.au/gcwater/</a>

Sted og nr.	Tema	Pro/Contra (udvælgelse)	Primær reference
Mendoza, Argentina (16)	Campo Espejo et af de største spildevandsanlæg i verdenen producerer af by spildevand vand til vanding.	Et af de få Sydamerikaske eksempler. Returnering af vand til landbrug er repræsenteret i andre cases.	U.S. Environmental Protection Agency: Guidelines for Water Reuse. 2004
Adelaide, Australien (17)	Highest rate of water reuse in Australia	Repræsenteret af øvrige australske cases	<a href="http://www.waterproofingadelaide.sa.gov.au/main/aws_srw_recwater.htm">http://www.waterproofingadelaide.sa.gov.au/main/aws_srw_recwater.htm</a>
Mawson Lakes, SA, Australien (18)	Residential third pipe supply for toilets and gardens	Repræsenteret af øvrige australske cases	<a href="http://www.waterproofingadelaide.sa.gov.au/main/aws_srw_recwater.htm">http://www.waterproofingadelaide.sa.gov.au/main/aws_srw_recwater.htm</a>
Melbourne, Australien (19)	Integrated hydrological design for residential dev.	Repræsenteret af øvrige australske cases	Sample and Heaney: Integrated Management of Irrigation and Urban Storm-Water Infiltration. J. Water Resour. Plng. and Mgmt., Volume 132, Issue 5, pp. 362-373 2003
Springfield, Australien (20)	Springfield water recycling demonstration project: Residential supply for non-drinking purpose	Repræsenteret af øvrige australske cases	<a href="http://www.epa.qld.gov.au/environmental_management/water/water_recycling_strategy/springfield_water_recycling_demonstration_project/">http://www.epa.qld.gov.au/environmental_management/water/water_recycling_strategy/springfield_water_recycling_demonstration_project/</a>
Aurora, Melbourne, Australien (21)	Showcase of sustainable development. 70 % sænkning af drikkevandsforbrug er forventet.	Repræsenteret af øvrige australske cases	Mitchell: Applying Integrated Urban Water Management Concepts: A Review of Australian Experience. Environmental Management vol 37 no 5, 2006
Capo di Monte, Queensland, Australien (22)	Bæredygtig vandhåndtering i nybygget landsby med minimale påvirkninger af omgivelserne.	Minder om Pimpama-Coomera (15)	Hamlyn-Harris: Capo di Monte - a peak in sustainable urban development. Water21, October 2006
Figtree Place, Melbourne, Australien (23)	Nedsivning af regnvand til grundvand	Fokus på regnvandsnedsivning	Your Home Technical Manual, findes på: <a href="http://www.greenhouse.gov.au/yourhome/technical/index.htm">www.greenhouse.gov.au/yourhome/technical/index.htm</a>
Goldcoast, Queensland, Australien (24)	Obligatorisk regnvandsopsamling	Repræsenteret af øvrige australske cases	<a href="http://www.goldcoastwater.qld.gov.au">www.goldcoastwater.qld.gov.au</a>
Henderson marinebase, Freemantle, Australien (25)	Afsaltningsanlæg drevet af bølgeenergi (CETO)	Pilot anlæg designet for både elproduktion og/eller	<a href="http://www.seapowerpacific.com/">http://www.seapowerpacific.com/</a>
Kwinana, WA, Australien (26)	Water reuse large scale scheme based and at household level	Fokus på industrielt recirkulering. Relateret til Perth afsaltning	<a href="http://csrp.com.au/database/au/kwin/kwrp.html">http://csrp.com.au/database/au/kwin/kwrp.html</a>
Parafield Urban Stormwater Harvesting Facility, Salisbury, SA, Australien (27)	Salisbury Council. Construction of 30 wetlands to slow the flow and allow pollution to settle	Inkluderet i "salisbury, SA"	<a href="http://cweb.salisbury.sa.gov.au/maniftest/servlet/page?pg=8424&amp;stypen=html">http://cweb.salisbury.sa.gov.au/maniftest/servlet/page?pg=8424&amp;stypen=html</a>
Rousehill, Sydney: Genbrug af spildevand, Australien (28)	22.000 husstande bruger genbrugt vand i toiletter til bilvask, vanding m.m.	Flerstrengt forsyning, ligner andre eksempler	<a href="http://www.sydneywater.com.au/SavingWater/RecyclingandReuse/RecyclingAndReuseInAction/RouseHill.cfm">http://www.sydneywater.com.au/SavingWater/RecyclingandReuse/RecyclingAndReuseInAction/RouseHill.cfm</a>
Salisbury, SA, Australien (29)	Aquifer storage and recovery (ASR) using stormwater and wastewater	Delvist repræsenteret af Advanced Wastewater Reclamation Plant	Factsheet, findes på: <a href="http://cweb.salisbury.sa.gov.au/maniftest/servlet/binaries?img=4041&amp;stypen=html">http://cweb.salisbury.sa.gov.au/maniftest/servlet/binaries?img=4041&amp;stypen=html</a>
Sydney, NSW, Australien (30)	Sikring af drikkevand i Sydney	vandplan for en storby med pres på vandressourcen	WaterPlan21 findes på: <a href="http://www.sydneywater.com.au/Publications/PlansStrategies/WaterPlan21.pdf#Page=1">http://www.sydneywater.com.au/Publications/PlansStrategies/WaterPlan21.pdf#Page=1</a>
Toowoomba, Queensland, Australien (31)	Indirekte genanvendelse af spildevand, ligesom "Orange County, CA". Blev stemt ned 30 september 2006 på trods af alvorlig vandmangel	Projektet er afvist af befolkningen	<a href="http://www.toowoombawater.com.au/">http://www.toowoombawater.com.au/</a>

Sted og nr.	Tema	Pro/Contra (udvælgelse)	Primær reference
Heist, Belgien (32)	Som i Wulpen menfor lav hydraulisk konduktivitet har lagt projektet på hylden.	Ligner "Wulpen", men tilsyneladende ikke i brug.	U.S. Environmental Protection Agency: Guidelines for Water Reuse. 2004
Sao Paulo, Brasilien (33)	Genbrug af spildevand i industri, i by-inventar (toiletter mm.) og til vanding af parker mm.	Et af de få Sydamerikanske eksempler	U.S. Environmental Protection Agency: Guidelines for Water Reuse. 2004
The Gulf Islands, Britisk Colombia (34)	Regnvandsopsamling i fritstående huse	Ikke konkret eksempel	UNEP: Examples of Rainwater Harvesting and Utilisation Around the World findes på <a href="http://www.unep.or.jp/Ietc/Publications/Urban/UrbanEnv-2/9.asp">http://www.unep.or.jp/Ietc/Publications/Urban/UrbanEnv-2/9.asp</a>
Hele landet, Cypern (35)	Genbrug af spildevand til vanding (landbrug)	Fokus på vanding	U.S. Environmental Protection Agency: Guidelines for Water Reuse. 2004
Amager, Amagerværket, Danmark (36)	Erstatning af vandværk vand hvor det er muligt. Brug af afsaltet afværgvand som kedelvand.	Lille skala, industrivand. 85 % af drikkevandet bruges i husholdninger i KBH	Personlig kommunikation med Henrik Rostgaard ansat ved Vattenfall - Amagerværket 2007
DaimlerChrysler/Mercedes domicil, København, Danmark (37)	Regnvand anvendes til toiletskyl, via 30 m3 regnvandstank. Vand renses via cyklon filtre og har dækket ca. 25 % af vandbehovet 1999-2006.	Minder om øvrige regnvandsanlæg	Lund: Konkrete eksempler på større anlæg med genanvendelse af regnvand. Nyrup Plast A/S.
DR byen, Ørestad, Danmark (38)	Opsamling af regnvand i 400 m3 tank fra tagarealer (21000 m2) til toiletskyl. Der regnes med at spare 7116 m3/år.	Mindre enkeltstående projekt	Fox: Miljø i DR BYEN- miljø, energi, indeklima og arbejdsmiljø. Bilag 6 til helhedsplan for DR-byen
Frederiksberg, Det økologiske inspirations hus, Danmark (39)	Indeklima styring vha. regnvand, grønt rensningsanlæg og urinseparation m.m.	Lille skala, store ligheder med "Regnvandsopsamling i parcelhus"	Hauger & Binning: A1 Overordnet kortlægning af nuværende ressourcer og forbrug, samt eksisterende renseteknologier inden for vand- og spildevand
Hurup, Thy, Nordisk folkecenter for vedvarende energi, Danmark (40)	4 forskellige rensningsanlæg der bruger planter til rensning renseanlæg	Lille skala	Hauger & Binning: A1 Overordnet kortlægning af nuværende ressourcer og forbrug, samt eksisterende renseteknologier inden for vand- og spildevand
Kommunernes Landsforening, København, Danmark (41)	Ca. 30 % af toiletskylsvandet er regnvand. 28 m3 tank	Minder om øvrige regnvandsanlæg	Lund: Konkrete eksempler på større anlæg med genanvendelse af regnvand. Nyrup Plast A/S.
Regnvandsopsamling i parcelhus, Danmark (42)	Eksempel på opsamling af regnvand i enfamiliehus til vask og toilet	Ikke et konkret eksempel	Hauger & Binning: A1 Overordnet kortlægning af nuværende ressourcer og forbrug, samt eksisterende renseteknologier inden for vand- og spildevand
Tingbjerg, København: Nedsivning af regnvand til brug i rekreativt område, Danmark (43)	Udnyttelse af regn vand på omkring liggende friarealer	Ikke vandorsyning	Hauger & Binning: A1 Overordnet kortlægning af nuværende ressourcer og forbrug, samt eksisterende renseteknologier inden for vand- og spildevand
Zoologisk Have, København, Danmark (44)	Halvering af vandforbrug. Vinder af drikkevandsprisen 2006	Enkeltstående tilfælde af vandgenbrug	<a href="http://www.dn.dk/sw65502.asp">http://www.dn.dk/sw65502.asp</a>
Økohus 99, Kolding, Danmark (45)	Regnvandsopsamling til tøjvask. Væsentlig nedsættelse af vandforbruget	Mindre enkeltstående projekt	Erhvervs- og boligstyrelsen: 12 Byøkologiske forsøgsbyggerier 2003. Findes på: <a href="http://www.ebst.dk/publikationer/rapporter/forsogbyg/12byokolo/html/12_byoekologiske_forsogsbyggerier.pdf">http://www.ebst.dk/publikationer/rapporter/forsogbyg/12byokolo/html/12_byoekologiske_forsogsbyggerier.pdf</a>
Aubergenville, Parisregionen, Frankrig (46)	Ikke planlagt indirekte recirkulering: Seinen (25 % spildevand) er brugt til drikkevandsforsyning via akvifer..	Eksempel på ikke-planlagt indirekte recirkulering, som foregår flere steder i Europa.	U.S. Environmental Protection Agency: Guidelines for Water Reuse. 2003
Hele landet, Grækenland (47)	Genbrug af spildevand til vanding (landbrug)	Fokus på vanding	U.S. Environmental Protection Agency: Guidelines for Water Reuse. 2004

Sted og nr.	Tema	Pro/Contra (udvælgelse)	Primær reference
Eindhoven/Meerhoven, Holland (48)	Aquq, Bauq	Begrænset information om konkrete tiltag	Personlig kommunikation med Govert Geldof, december 2006
Holland: Det grønne kontorhus, Holland (49)	Opsamling af regnvand i "grønne bede" til brug for køling og klimastyring af kontorhus	Ikke fokuseret på drikkevand, ligner andre eksempler med obligatorisk regnvandsopsamling	<a href="http://www.lvbk.nl/en/16.html">http://www.lvbk.nl/en/16.html</a>
Leidsche Rijn, Holland (50)	Dual reticulation system abandoned due to too many cross connections	Ikke-succesfuld flerstrengt forsyning.	Personlig kommunikation med Govert Geldof, december 2006
Nijmegen, Holland (51)	Omstrukturering af vandsystemet bl.a. tilskudsordninger til regnvandstønder og udbredt borgerinddragelse	Fokus på hele det urbane vandkredsløb.	<a href="http://www.waterbewust.nl">www.waterbewust.nl</a>
Central Pollution Control Board (CPCB), Delhi, Indien (52)	Kunstig infiltration af regnvand med henblik på gendannelse af grundvandsressource	Begrænset information om konkrete tiltag	Sundaravadivel, M. RWHM Workshop IWA Beijing 2006 og <a href="http://cgwb.gov.in/GroundWater/Artificial_Recharge.htm">http://cgwb.gov.in/GroundWater/Artificial_Recharge.htm</a>
Hele landet, Indien (53)	700 000 m <sup>3</sup> /d ubehandlet spildevand ledes til floden Musi, der bruges til vanding i landbruget. (2004 Water reuse manual)	Udviklingsland, forkus på landbrug	U.S. Environmental Protection Agency: Guidelines for Water Reuse. 2004
ITT Madras, Indien (54)	Regnvandsopsamling i byområder eksemplificeret ved opsamling af regnvand på kollegie.	Minder om Seoul og Potsdammer Platz, begrænset information	RWHM Workshop IWA Beijing 2006
Hele landet, Iran (55)	Spildevand bruges som vanding og gødning i landrug	Forkus på landbrug	U.S. Environmental Protection Agency: Guidelines for Water Reuse. 2004
Askhelon, Israel (56)	Et af verdens største afsaltningsanlæg. Producerer vand til meget lav pris (~3 Dkr/m <sup>3</sup> )	Repræsenteret i Perth	Tal: Seeking Sustainability: Israel's Evolving Water Management Strategy. Science, vol 313, 2006
Hele landet, Israel (57)	Behandlet spildevand bruges til vanding	Der er ofte referet til israelske recirkuleringsprojekter. Eksempel fra mellemøsten	U.S. Environmental Protection Agency: Guidelines for Water Reuse. 2004
Hele landet, Italien (58)	Primært vanding af landbrug med også industriel forsyning enkelte steder	Fokus på industri og landbrug	Barbagallo et al: Wastewater reuse in Italy. Water Science and Technology vol 43, no. 10 2001
Ryogoku Kokugian Sumo wrestling Arena, Sumida City, Tokyo, Japan (59)	Siden 1985 brug af regnvand fra 8400 m <sup>2</sup> loft, der samles i 1000 m <sup>3</sup> underjordisk beholder. Bruges til toiletskyl og airconditioning.	Minder om Millenium Dome, London	UNEP: Examples of Rainwater Harvesting and Utilisation Around the World findes på <a href="http://www.unep.or.jp/Ietc/Publications/Urban/UrbanEnv-2/9.asp">http://www.unep.or.jp/Ietc/Publications/Urban/UrbanEnv-2/9.asp</a>
Tokyo, Japan (60)	Obligatorisk regnvandsopsamling i bygninger over 10 000 m <sup>2</sup> eller med footprint over 3000 m <sup>2</sup>	Ligner Korea	Ogoshi et al: Water reuse in japan. Water Science and Technology, vol 43, 2001.
3 steder: Wadi Musa, Aqaba og Jordan Univ. Sci. & Tech, Jordan (61)	Direct water reuse	Store recirkuleringsprojekter.	U.S. Environmental Protection Agency: Guidelines for Water Reuse. 2004
Amman-Zarqa Basin, Jordan (62)	Water reuse	Fokus på landbrug	Mccornick et al 2002; Sheik, 2001 og U.S. Environmental Protection Agency: Guidelines for Water Reuse. 2004
Dongtan, Shanghai, Kina (63)	Eco City. Bæredygtig bydel på Chongming Island. Markedsført som fremtidens bæredygtige storby	Begrænset information om konkrete tiltag	Arup, London: <a href="http://holcimfoundation.org/T486/C hongmingIsland.htm">http://holcimfoundation.org/T486/C hongmingIsland.htm</a>
Taiyuan, Shanxi Provinsen, Kina (64)	Menvirionmetal Masterplan. Sekundær behandling af ca. 900 000 m <sup>3</sup> /d spildevand. Ca. 50 % vil blive genbrugt via infiltration til grundvandsressource.	Begrænset information om konkrete tiltag	U.S. Environmental Protection Agency: Guidelines for Water Reuse. 2004
Sulaibiya plant, Kuwait (65)	High quality recycled water for irrigation/aquifer replenishment	Store recirkuleringsprojekter.	U.S. Environmental Protection Agency: Guidelines for Water Reuse. 2004

Sted og nr.	Tema	Pro/Contra (udvælgelse)	Primær reference
Hele landet, Pakistan (66)	Udbredt brug af urensset spildevand i landbrug som vanding og gødning. Problemer med toxicitet, der begrænser valg af afgrøder	Fokus på problemer i forbindelse med vandets anvendelse på afgrøder.	U.S. Environmental Protection Agency: Guidelines for Water Reuse. 2004
Vestbredden og Gaza, Palæstina (67)	Stigende brug af recirkuleret spildevand i landbruget. Forventning om 50 % recirkuleret vand til vanding år 2020 (2004 Water reuse manual)	relateret til "Israel". Ekstrem vandsituation og spændinger i mellem vandbrugerne	U.S. Environmental Protection Agency: Guidelines for Water Reuse. 2004
Algarve region, Portugal (68)	Strategies for water supply management	Omhandler et større opland, med flere byer involveret. Primært et spørgsmål om allokering af vand mellem landbrug og turisme (byer). I byerne er cost recovery mellem 16-60 % af udgifterne til at drive vand- og afløbssystemet.	Koundouri et al: Watermanagement in arid and semi-arid regions. The water strategy man project.
Jeddah, Mecca and City of Jubail, Saudi Arabien (69)	High quality recirkuleret vand for offentlig, industriel og landbrugsanvendelse.	Minder om eksemplerne fra Jordan	U.S. Environmental Protection Agency: Guidelines for Water Reuse. 2004
Riyadh, Saudi Arabien (70)	vandplan år 2021: 21 Satellit recirkulerings anlæg til industri, havevanding etc.	Satellitrecirkuleringsanlæg er et eksempel anderledes teknikker i forbindelse med recirkulering.	Sheikh & Aldu Kair, 2001
Riyadh, Saudi Arabien (71)	År 2000: 415 000 m3/d desinficeret og tertiært behandlet spildevand leveret gratis. 45 % udnyttet primært som vanding, derudover 4 % i industri. Resten ledes til kanalen Wadi Hanifah (2004 Water reuse manual)	Minder om eksemplerne fra Jordan	U.S. Environmental Protection Agency: Guidelines for Water Reuse. 2004
Kranji treatment plant, Singapore (72)	High grade treatment of waste water	Inkluderet i PUB Singapore: Water for all	<a href="http://www.pub.gov.sg/info_center/press_release15092005.aspx">http://www.pub.gov.sg/info_center/press_release15092005.aspx</a>
Marina Barrage, Singapore (73)	Regnvandsreservoir	Inkluderet i PUB Singapore: Water for all	<a href="http://www.pub.gov.sg/Marina">www.pub.gov.sg/Marina</a>
Newwater, Singapore (74)	Genbrug af spildevand	Inkluderet i PUB Singapore: Water for all	<a href="http://www.pub.gov.sg/newwater">www.pub.gov.sg/newwater</a>
Barcelona, Spanien (75)	Recirkulering af spildevand til landbrug	Repræsenteret af Costa Brava	Durham & Angelakis: <i>Water recycling and reuse in EUREAU countries: Trends and challenges</i> . IWA specialist group on water reuse. June 2006 newsletter
City of Vitoria, Baskerlandet, Spanien (76)	Recirkuleringsprojekt primært drevet af lokalsamfundet til brug i landbrugsområder (2004 Water reuse manual)	Fokuseret på landområder	U.S. Environmental Protection Agency: Guidelines for Water Reuse. 2004
Kanarieøerne/Gibraltar water reuse, Spanien (77)	Water reuse for residential consumption	Minder om øvrige reuse eksempler	Veza: Desalination in the Canary Islands: an update. Salination vol 133, 2001.
Murcia, Spanien (78)	Water reuse	Minder om øvrige reuse eksempler	Latorre, 2002, Design optimization of SWRO plants for irrigation, IDA Bahrain
Aguilas, Guadalentín, Murcia, Spanien (79)	Afsaltning. Ca 180.000 m3/d havvands RO	Konstruktion i starten af 2007	Global Water Intelligence, Oktober 2006.
Polaris World, Murcia, spanien (80)	Afsaltning skal forsyne nyt område med 200000 turister med 56.000 m3/d.		<a href="http://www.worldofpolaris.com/">http://www.worldofpolaris.com/</a>
Eden project, Cornwall, Storbritannien (81)	Regnvandsopsamling til brug i biosfære	Primært vand til brug i drivhuse	<a href="http://www.edenproject.com">www.edenproject.com</a>
Chelmer, South east England, Storbritannien (82)	Chelmer Augmentation Wastewater reuse Scheme started 1997. Numerous impact studies on the estuary ecosystem and public	Minder om øvrige recirkuleringsprojekter	Lazarova et al. 2001

Sted og nr.	Tema	Pro/Contra (udvælgelse)	Primær reference
	health.		
BedZED, Wallington, Surrey, Storbritannien (83)	Økoby, ca. 100 boliger med 50 % reduktion af vandforbrug gennem vandbesparelser, regnvandsbrug og recirkulering.	Begrænset information, minder om Pimpama-Coomera	<a href="http://www.bioregional.com/programme_projects/ecohous_prog/bedzed/bz_factsstats.htm">http://www.bioregional.com/programme_projects/ecohous_prog/bedzed/bz_factsstats.htm</a> og <a href="http://www.bioregional.com/programme_projects/ecohous_prog/bedzed/bedzed_hpg.htm">http://www.bioregional.com/programme_projects/ecohous_prog/bedzed/bedzed_hpg.htm</a>
London, Storbritannien (84)	Thames Water: Desalination and waste water reuse in London	Bortset fra størrelsen har Londons vandforsyning mange lighedspunkter med København, dog er projekterne under udarbejdelse og endnu ikke implementeret.	Personlig kommunikation med Elizabeth Grant fra Thames Water, december 2006
Hockerton Housing Project, Southwell, Storbritannien (85)	Økohuse i det centrale England med 25 % vandforbrug af typisk UK forbrug.	5 huse i landlige omgivelser	<a href="http://www.hockertonhousingproject.org.uk">www.hockertonhousingproject.org.uk</a>
Augustenborg, Malmø, Sverige: Bæredygtig "water management", Sverige (86)	Bl.a. synliggørelse af vand, grønne tage, vand som løftestang i kvartersløft.	Ikke vandforsyning	<a href="http://www.ke.er.dtu.dk/data">www.ke.er.dtu.dk/data</a>
Ecoporten, Norrköping, Sverige (87)	Urinsorterende toiletter, lokal håndtering af spildevand	Ikke drikkevand	<a href="http://www.er.dtu.dk/publications/fulltext/1997/imt1999-127.htm">www.er.dtu.dk/publications/fulltext/1997/imt1999-127.htm</a>
Kalmars tekniske højskole, Sverige (88)	Urinsorterende toiletter, udnyttelse af næringsstoffer	Ikke vandforsyning	<a href="http://www.te.hik.se">www.te.hik.se</a>
ReVAQ (89)	How to make sewage sludge safe for agricultural use	Ikke drikkevand	<a href="http://www.revaq.se/">http://www.revaq.se/</a>
Ringdansen, Norrköping (90)	Rainwater collection system for domestic water supply	Minder om øvrige regnvandsopsamlingseksempler	Villarreal & Dixon: Analysis of a rainwater collection system for domestic water supply in Ringdansen, Norrköping, Sweden. Building and environment 40 (9), 2005
Skogaberg, Göteborg, Sverige (91)	Genanvendelse af næringsstoffer fra sort spildevand	Fokuseret på spildevand og næringsstoffer	Hauger & Binning: A1 Overordnet kortlægning af nuværende ressourcer og forbrug, samt eksisterende renseteknologier inden for vand- og spildevand
Atlantis, Sydafrika (92)	Infiltrationsbassiner leder 4500 m3/d behandlet spildevand og regnvand til grundvand	Minder om "Gauteng"	U.S. Environmental Protection Agency: Guidelines for Water Reuse. 2004
Durban, Sydafrika (93)	47 000 m3/d recirkuleret vand brugt i papirindustri/rafinaderier	Fokus på industri	<a href="http://www.durban.gov.za/durban/Services/water_and_sanitation/services/np_water/">http://www.durban.gov.za/durban/Services/water_and_sanitation/services/np_water/</a>
Gauteng (Johannesburg-Pretoria), Sydafrika (94)	60 % af overfladevandet brugt i vandforsyningen er spildevand. Hartebeesport Dam som bruge i vandforsyningen til Johannesburg modtager 50 % af sit volumen fra spildevandsanlæg. (2004 Water reuse manual)	Indirekte reciklering gennem overfladevand.	U.S. Environmental Protection Agency: Guidelines for Water Reuse. 2004
Hele landet, Thailand (95)	Rainwater collection and storage in rural areas of Thailand	Fokuseret på landområder	Visvanathan et al: Rainwater collection and storage in Thailand: Design and operational issues. RWHM Workshop, IWA 5th world water congress and exhibition, Beijing, september 2006.

Sted og nr.	Tema	Pro/Contra (udvælgelse)	Primær reference
Belss-Luedecke-Strasse, Berlin, Tyskland (96)	Regnvandsopsamling fra 7000 m <sup>2</sup> tag og 4200 m <sup>2</sup> gade, parkeringsplads og gangarealer. Anvendes til toiletskyl og vanding efter rensning. Det anlås at spare 2430 m <sup>3</sup> pr. år	Minder om Potsdamer Platz	. RWHM Workshop, IWA 5th world water congress and exhibition, Beijing, september 2006.
Vauben, Freiburg, Tyskland (97)	Bydel med 5000 indbyggere, hvor der er fokus på bæredygtighed, især energi og transport og grønne områder.	Minder om Hammarby Sjöstad og Pimpama coomera	<a href="http://www.en.wikipedia.org/Vauben_(Freiburg)">www.en.wikipedia.org/Vauben_(Freiburg)</a>
Californien/Los Angeles, USA (98)	Los Angeles/Californien er "world leaders" in water reclamation	Eksemplificeret i "Orange County" eksemplet	<a href="http://www.usbr.gov/lc/socal/scswrrs.html">http://www.usbr.gov/lc/socal/scswrrs.html</a>
City of Gallup, New Mexico, USA (99)	Appraisal level study by the US bureau of reclamation on a planned water reuse system designed to provide potable water	Endnu et recirkuleringsprojekt	
City of West Palm Beach, Florida, USA (100)	Indirekte genbrug af spildevand, grundvandsinfiltration/genindvindin g. Delinfiltration gennem vådområder. Drivkraft: Tilgængelig vandressource mindsket pga. vand allokering til restoration af Everglade NP. PR bureau hyret til overbevisning af politikere & befolkning.	Vestamager er også et vådområde. Endnu et eksempel på PR arbejde, med overbevisning af brugerne. Fokus skal på drivkræfterne	<a href="http://www.cityofwpb.com/utilities/cwmp/reclamation.htm">http://www.cityofwpb.com/utilities/cwmp/reclamation.htm</a>
Cloudcroft, New Mexico, USA (101)	One the first municipalities in US to recycle 100 % of its wastewater. A true "closed-loop" case.	Det lukkede kredsløb er interessant. 800 indb. Og nyligt projekteret. Er delvist repræsenteret i Windhoek-eksemplet fra Namibia.	Hanson et al: Potable Re-use of Treated Reclaimed Wastewater, UCOWR/NIWR annual conference, Santa Fe, NM, juli 2006. Findes på <a href="http://www.ucowr.siu.edu/">www.ucowr.siu.edu/</a>
F.Wayne Hill Water Resources Center, Gwinnett County, USA (102)	Recirkulering af 28 mio. m <sup>3</sup> spildevand/år	Minder om øvrige recirkuleringsprojekter i USA.	<a href="http://www.co.gwinnett.ga.us/">http://www.co.gwinnett.ga.us/</a>
Groundwater recharge, Town of Prescott Valley, Arizona, USA (103)	Return of waste water to aquifer.	Minder om Orange County eksemplet	<a href="http://www.water.az.gov/watermanagement/Content/AMAs/PrescottAMA/">http://www.water.az.gov/watermanagement/Content/AMAs/PrescottAMA/</a>
Monterey, Californien, USA (104)	Vanding af grøntsager med recirkuleret spildevand (112.000 m <sup>3</sup> /d). Intensive studier har ikke fundet problemer mikroorganismer eller ophobning af metaller i jord og planter	Et eksempel på vanding af afgrøder, der ikke koges inden de spises.	<a href="http://www.mrwpc.org">www.mrwpc.org</a>
Phoenix, Arizon, USA (105)	Vandgenindvinding og recirkulering. Genindvundet vand bruges til grundvandsinfiltration og recirkuleret vand beyttes til vanding.	Endnu et eksempel fra en tør del af USA.	U.S. Environmental Protection Agency: Guidelines for Water Reuse. 2004 og <a href="http://www.water-technology.net/projects/tampa/">http://www.water-technology.net/projects/tampa/</a>
Reedy Creek Improvement District, Florida, USA (106)	Genbrug af spildevand i offentlige parker siden 1990. Dækker ca. 25 % af det samlede vandforbrug	Ikke drikkevand, vanding af offentlige parker, golfbaner mm.	U.S. Environmental Protection Agency: Guidelines for Water Reuse. 2004 og <a href="http://www.water-technology.net/projects/tampa/">http://www.water-technology.net/projects/tampa/</a>
Tampa Bay, Florida, USA (107)	2.5 mio. mennesker, 38 spildevandsanlæg. 36 % af spildevandet genbruges, 60 % af genbrugt spildevand erstatter drikkevandsressourcer.	Interessante kombinationer af afsaltning, genbrug, overflade- og grundvand	U.S. Environmental Protection Agency: Guidelines for Water Reuse. 2004 og <a href="http://www.water-technology.net/projects/tampa/">http://www.water-technology.net/projects/tampa/</a>
Texas (hele staten), USA (108)	Omfattende og langsigtet plan, der skal sikre vand nok til et fordoblet befolkningstal (46 mio.) i år 2060	Ikke en by, men en ramme/plan for en hel stat	<a href="http://www.twdb.state.tx.us">http://www.twdb.state.tx.us</a>
University of New Mexico, USA (109)	Regnvandsopsamling med henblik på vanding af park og haveanlæg	Opsamling af vand til have og park anlæg	<a href="http://www.unm.edu/news/Releases/February27rainwater.htm">http://www.unm.edu/news/Releases/February27rainwater.htm</a>

Sted og nr.	Tema	Pro/Contra (udvælgelse)	Primær reference
Water conservII. City of Orlando og Orange County, Florida, USA (110)	Vanding af frugtplantager med rensset spildevand.	Handler primært om brug af rensset spildevand til vanding af frugtplantager	<a href="http://waterconservii.com/">http://waterconservii.com/</a>
Badgerland Farm Center, Whitewater, Wisconsin, USA (111)	Genanvendelse af næringsstof- og pesticidforurenet afværgvand til sprøjtning af afgrøder	Ikke meget ny teknik, men accept af at anvende vandet til sprøjtning af afgrøder.	Hansen: Engineers Remediate Land Polluted with Fertilizer, Pesticide. Civil Engineering 2006
Kennedy Space Center, Water Reclamation, USA (112)	Spildevandsrensning på lange rummissioner	Rummissioner er en ekstrem situation, hvor prisen er mindre vigtig, mens funktionen er i højsædet	Tansel et al: Integrated evaluation of a sequential membrane filtration system for recovery of bioreactor effluent during long space missions. Journal of Membrane Science Volume 255, Issues 1-2, 15 June 2005, Pages 117-124
Hele landet, Ægypten (113)	Genbrug af spildevand til vanding (landbrug) Begrænset regulering	Udviklingsland, fokus på landbrug	U.S. Environmental Protection Agency: Guidelines for Water Reuse. 2004



## Bilag B Casebeskrivelser

I det følgende er hver udvalgt case beskrevet. Beskrivelserne indledes med nøgleordene afsaltning, recirkulering, regnvand og/eller vandplan afhængig af hvilken kategori de tilhører:

- Afsaltning: Demineralisering af brak- eller saltvand til brug i vandforsyningen.
- Afværgevand: Anvendelse af dræn- og afværgevand fra grundvandssænkninger og remedieringsprojekter.
- Recirkulering: Enhver form for genanvendelse af brugt vand/spildevand i vandforsyningen.
- Regnvand: Opsamling af nedbør til brug i vandforsyningen.
- Vandplan: Cases hvor fokus er på helhedsplanen for vandforsyningen.

### Pålidelighed af kilder

Erfaringsopsamlingen var baseret på mange forskellige typer kilder, der rækker lige fra markedsføringsmateriale til peer reviewed artikler i videnskabelige tidsskrifter. Hver case er vurderet på en grov skala, der giver et simpelt overblik over referencematerialets pålidelighed:



Oplysninger fra én kilde inklusiv tilfælde, hvor sekundære kilder refererer til samme primære kilde, eller generelt sparsomme oplysninger



Oplysninger baseret på flere kilder



Oplysninger fra uafhængige kilder

<b>1 OBLIGATORISK REGNVANDSOPSAMLING I STENLØSE.....</b>	<b>2</b>
<b>2 DEN BÆREDYGTIGE BYDEL HAMMARBY SJÖSTAD.....</b>	<b>5</b>
<b>3 SEKUNDÆR VANDFORSYNING I MILLENIUM DOME .....</b>	<b>7</b>
<b>4 RECIRKULERING VIA GRUNDVAND I WULPEN.....</b>	<b>10</b>
<b>5 RECIRKULERING AF SPILDEVAND PÅ COSTA BRAVA.....</b>	<b>12</b>
<b>6 BANK-INFILTRATION OG KUNSTIG GRUNDVANDSDANNELSE I BERLIN.....</b>	<b>15</b>
<b>7 INTEGRERET BRUG AF REGNVAND I BERLIN .....</b>	<b>18</b>
<b>8 RECIRKULERING AF SPILDEVAND I ORANGE COUNTY WATER DISTRICT ....</b>	<b>20</b>
<b>9 RECIRKULERING I RIO RANCHO VIA MEMBRAN-BIOREAKTOR.....</b>	<b>23</b>
<b>10 DIREKTE RECIRKULERING I WINDHOEK.....</b>	<b>25</b>
<b>11 VANDPLAN I SINGAPORE.....</b>	<b>28</b>
<b>12 OBLIGATORISK REGNVANDS-OPSAMLING I SEOUL .....</b>	<b>31</b>
<b>13 LOKAL RECIRKULERING I JAPAN .....</b>	<b>33</b>
<b>14 CO2-NEUTRAL AFSALTNING I PERTH .....</b>	<b>36</b>
<b>15 GOLD COAST WATER FUTURE.....</b>	<b>39</b>

# 1 Obligatorisk regnvandsopsamling i Stenløse

## REGNVAND - VANDPLAN



### Området

Nyt byområde, der med tiden skal lægge grund til 100 parcelhuse og 650 boliger i tæt/lav bebyggelse i Egedal kommune. Kommunen har ved udstykningen af grundene stillet en række miljøkrav til kommende boligers udformning, herunder obligatorisk regnvandsopsamling, energibesparelser mm.

### Projekter

*Obligatorisk regnvandsopsamling:* Alt tagvand skal opsamles til toiletskyl og eventuel tøjvask. Overskydende regnvand skal ledes til faskine på egen grund. Det forventes, at Stenløse Syd samlet vil anvende 22.000 m<sup>3</sup> regnvand eller ca. 30 m<sup>3</sup>/bolig/år. Kravene er stillet som tinglyste servitutter på grundene, er retsgyldige og der gives ikke dispensation (Nielsen, 2007).

Et typisk parcelhusanlæg består af en 4 m<sup>3</sup> nedgravet opsamlingstank, der opsamler vand fra taget og som forsyner toiletskyl og vaskemaskine (Jensen, 2007).

### Tidsramme

Kravet om miljøvenligt byggeri blev sat i 2004, og der bygges fortsat på grundene (Mørck et al. 2005b; Stenløse Syd, 2007).

### Drivkræfter

En kommunal Agenda 21 strategireddegørelse fra 1996 danner rammen for miljøkravene til nybyggeriet. En del af strategien påbyder, at forbruget af drikkevand skal reduceres.

Begrænsning af afløbsvand: Værebros Å, der er recipient for afløbsvand i området, oversvømmer til tider omkringliggende

jorde. Lokal opsamling og nedsivningen reducerer afløbet under kraftig nedbør (Stenløse Kommune, 2006).

### Vandforbrug

Husholdning: Ca. 120 m<sup>3</sup>/bolig/år, svarende til 130 l/p/d.

### Årsag til forbrugstendens

Ingen oplysninger.

### Vandkvalitet

Vandet filtreres mekanisk.

### Økonomi

*Takst:* 13 kr./m<sup>3</sup> (Stenløse Vandværk, 2007).

*Produktion drikkevand:* ca. 13 kr./m<sup>3</sup> inklusive investering (da takst fastsættes efter "hvile-i-sig-selv" princippet).

Installation af et regnvandsanlæg koster 30-50.000 kr. for parcelhusene og mindre for række- og etageboliger (Poulsen, 2007). Der skal betales en afløbsafgift svarende til afledningsafgiften for 10 m<sup>3</sup> spildevand pr. år (pt. ca. 275 kr.). Vedligehold af anlægget påhviler husejeren (Poulsen, 2007; Nielsen, 2007).

### Omkostningsdækning:

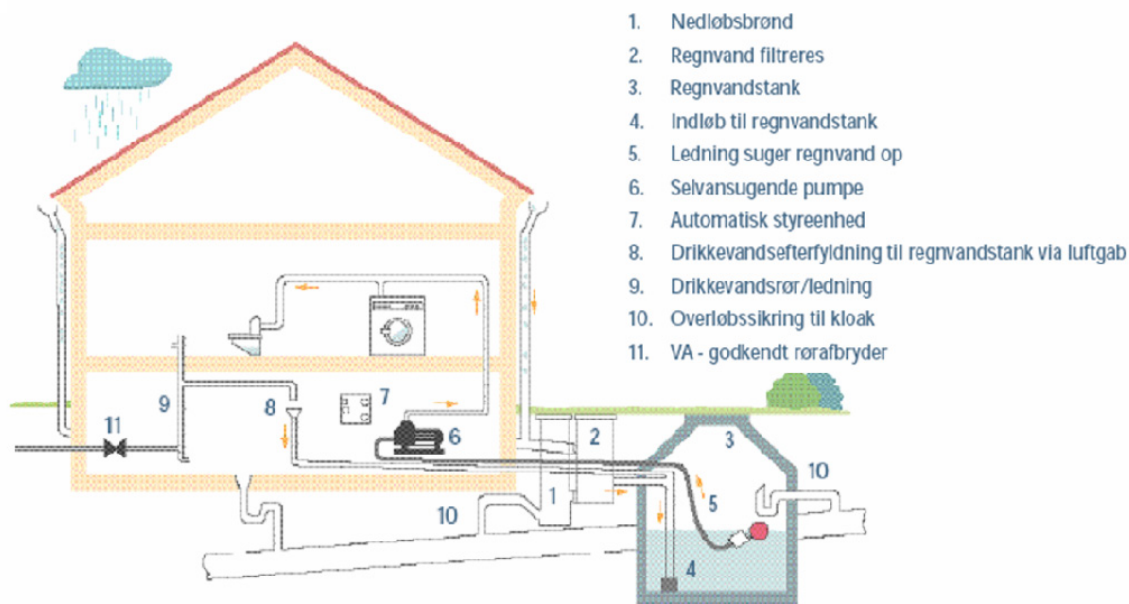
Da regnvandet afledes lokalt, spares der 20.000 på tilslutning til regnvandsstik, mens der skal installeres en faskine til afledning af overskydende regnvand.

Kommunens eksempler regner med en årlig besparelse på ca. 1000 kr./bolig som følge af reduceret vandforbrug. Estimatet forudsætter, at alt toiletskyllevand erstattes af regnvand og at der i alt benyttes 120 m<sup>3</sup>/bolig/år, heraf 32 m<sup>3</sup> til toiletskyl. Benyttes regnvand også til tøjvask og vanding anslås besparelsen til ca. 1700 kr. (Nielsen, 2007).

### Politisk modenhed

Kommunens forvaltning har mødt modstand fra vandværkernes forening og "ministeriel side" omkring regnvandsopsamlingen, begrundet i en principiel modstand mod regnvandsopsamling (Nielsen, 2007; Andersen, 2007).

For at stramme miljøkravene til byggeriet ud over det gældende bygningsreglement, har det været nødvendigt at udføre en aktiv jordpolitik, hvor kommunen har opkøbt jorden med henblik på videresalg. Først da kommunen ejede jorden, var det muligt at deklare kravene på grundene (Nielsen, 2007; Andersen, 2007; Poulsen, 2007).



Skematisk tegning af regnvandsanlæg. Fra Miljøstyrelsen (2002).

### Borgerinddragelse

Da regnvandsopsamling i denne skala er relativt nyt i Danmark, har kommunen set det nødvendigt at gøre bygherrerne opmærksom på, hvilke forhold entreprenører og rådgivere skal have styr på i forbindelse med regnvandsinstallationerne. Brugere skal som ejere selv vedligeholde de færdige installationer (Jensen, 2007).

### Forbrugeraccept

Ifølge kommunens forvaltning har de strikse miljøkrav ikke kunnet mærkes på interessen for at købe og bygge i området (Mørck et al, 2005a). Foreløbigt udtrykker husejerne tilfredshed med regnvandsopsamlingen, og de er ikke utrygge ved at skulle anvende regnvand. Derimod er der lidt usikkerhed omkring vedligeholdelsen (Jensen, 2007). I en spørgeskemaundersøgelse blandt de første boligejere svarer 14 ud af 15, at de er en "almindelig familie", mens en enkelt betegner sig som "miljøbevidst". Samme undersøgelse viser, at et flertal (9 af 15) har valgt at benytte regnvandet til tøjvask (Poulsen, 2007).

### Teknisk modenhed

Enkelte af 27 mindre bygherrer og deres rådgivere har haft problemer med at håndtere krav, der ligger ud over bygningsreglementets krav, hvilket har resulteret i fordyrelse af deres projekter. I 5 ud af 22 tilfælde har faskinerne været underdimensioneret (Poulsen, 2007). Kommunen vurderer dog, at 50 % af sagerne er kørt helt uden problemer. Store entreprenører, der har budt på større projekter, har egne tegnestuer og

ingeniørafdelinger og har generelt ikke problemer med at håndtere de nye krav. Kommunen vurderer, at de problemer, der er opstået, skyldes skepsis overfor at afvige fra gængse standarder (Andersen, 2007).

### Risici

Der er normalt ingen risiko for brugeren ved at anvende regnvand til toiletskyl og tøjvask (Miljøstyrelsen, 2002). Installationerne kontrolleres af kommunens byggesagkyndige (Andersen, 2007)

### Miljøforhold

Der er tale om ca. 25 % substituering af drikkevandsforbruget, under forudsætning af at forbrugsmønstret ikke ændrer sig pga. regnvandsopsamlingen. I de boliger, hvor vandet anvendes til tøjvask, vil der også kunne spares væsentligt på vaskemidler, da drikkevandet er hårdt (ca. 20°dH).

### Forventninger til fremtiden

Der bygges fortsat under samme koncept i Stenløse Syd, herunder 90 boliger i etagebyggeri, der forventes færdige i 2008.

### Anbefalet læsning

Holm (2006) og [www.stenlosesyd.dk](http://www.stenlosesyd.dk)

### Vurdering

Stenløse Syd viser, at det i Danmark er muligt at stille krav til nye huses energi- og vandforbrug, der er væsentligt skrappe end de lovbefalede byggeforskrifter. Det forventes, at regnvand vil erstatte 25 % af husstandenes vandforbrug, og inkluderes forbrug til tøjvask, vil andelen givetvis være højere. Det er dog en forudsætning, at

regnvandsopsamlingen er dimensioneret korrekt, så det tilsluttede tagareal og tankvolumen er stort nok til at dække behovet til toiletskyl og tøjvask. Der er tale om en beskednen merudgift set i forhold til områdets huspriser i størrelsesordenen 3,5-4 mio. kr. Omvendt vil en besparelse på 1000-1700 kr./år formentlig ikke alene forsvare en investering på 30-50.000 kr. I besparelsen er indregnet en indirekte støtte fra kommunen, der har valgt at lade ejerne nøjes med at betale afløbsafgift for 10 m<sup>3</sup> regnvand/år, selvom den anvendte regnmængde er større. I regnestykket indgår dog ikke besparet regnvandsstik, reduceret vaske-/skyllemiddelforbrug og udgift til faskine.

Kravene om regnvandsopsamling gælder ikke bare parcelhuse, men som nævnt også et etagebyggeri, hvor prisen for regnvandsopsamling og faskine er lavere pr. bolig (Poulsen, 2007). Det er oplagt at tænke i lignende baner i Københavns områder med nybyggeri eller under kraftig renovering.

Så længe kravene ikke optræder i bygningsreglementet, er det nødvendigt at føre en aktiv jordpolitik som i Egedal kommune for at gøre kravene retsgyldige. En ny planlov, der er i høring nu, kan måske bedre kommunernes muligheder for at stille krav til miljørigtigt byggeri (Poulsen, 2007). Det er også vigtigt at være indstillet på at guide især mindre bygherrer og deres rådgivere, der kan have problemer med at skulle afvige fra de standarder, der følger af det gældende bygningsreglement.

## Konklusion

Stenløse Syd er et meget relevant eksempel på obligatorisk regnvandsopsamling i Danmark. Erfaringerne vil direkte kunne overføres til Københavns Kommune og ved at substituere et drikkevandsforbrug i størrelsesordenen 25 % i nybyggede områder er der tale om et væsentligt bidrag til at øge byens selvforsyningsgrad samtidig med, at afløbet fra området reduceres.

## Referencer

Andersen, B. (2007) Personlig kommunikation med Egedal kommunes projektleder på Stenløse Syd, februar 2007.

Holm, R. (2006) Stenløse stiller miljøkrav til nybyggeri. Nyhedsmagasinet Danske Kommuner, 27/4/2006.

Jensen, P.H. (2007) E-mail korrespondance med husejer fra Rådyrleddet i Stenløse Syd.

Miljøstyrelsen (2002) Fra taget til toilettet. Miljøministeriet.

Mørck, O., Andersen, B., Poulsen, J. og Jørgensen, M.D. (2005a) Kommunale stramninger af bygningsreglementet i Stenløse Syd. Stads- og havneingeniøren, nr. 8 august 2005.

Mørck, O., Larsen, K.J. Andersen, B., Poulsen, J. og Jørgensen, M.D. (2005b) Stenløse Kommune har strammet energikravene. Medlemsblad for Foreningen Dansk Byøkologi nr. 2 okt. 2005.

Nielsen, P.H. (2007) Tør vi stille krav til borgerne og i så fald hvordan. Case fra Stenløse Syd. Præsentation fra temadag om håndtering af forøgede regnvandsmængder, Teknologisk Institut, 25. januar 2007.

Poulsen, J. (2007) Personlig kommunikation med planmedarbejder på Stenløse Syd. Marts 2007.

Stenløse Kommune (2006) Information og gode råd til bygherrer. Stenløse Kommune, november 2006.

Stenløse Syd (2007) Hjemmeside for Stenløse Syd: [www.stenloesyd.dk](http://www.stenloesyd.dk). Sidst besøgt februar 2007.

Stenløse Vandværk (2007) Hjemmeside: [www.stenlosevand.dk](http://www.stenlosevand.dk). Sidst besøgt februar 2007.

## 2 Den bæredygtige bydel Hammarby Sjöstad

### VANDPLAN



#### Området

Bydel i Stockholm, Sverige, med 20.000 mennesker fordelt på 9.000 boliger. Med tiden vil 30.000 mennesker bo og arbejde i bydelen (Hammarby Sjöstad, 2006a).

#### Projekter

Nybygget bydel med image som "bæredygtigt boligområde". Krav om A-mærkede hvidevarer. Vandforsyning optræder som et mindre punkt ud af 35 i miljøreddegørelsen for området (Hammarby Sjöstad, 2006b).

Regnvand behandles lokalt og afledes til Hammarby Sjö via kanaler, men benyttes ikke i vandforsyningen (Hammarby Sjöstad, 2003).

#### Tidsramme

Påbegyndt i 1996 og forventes færdigudviklet i 2012.

#### Drivkræfter

Politisk ønske om bæredygtig bydel, hvor den "miljømæssige belastning af omgivelserne er halveret" (Freudenthal, 2006). Merudgifter i forbindelse med miljøtiltag støttes med op til 30 % (Hammarby Sjöstad, 2006a). Kommercielle fordele i form af positiv modtagelse af projektet blandt købere (Freudenthal, 2006).

#### Vandforbrug

Pr indbygger: ca. 150 l/p/d svagt faldende og væsentligt lavere end Stockholms gennemsnit (200 l/p/d) (Hammarby Sjöstad, 2006a;b).

#### Årsag til forbrugstendens

Det (i Stockholm) relativt lave vandforbrug skyldes moderne vandbesparende

installationer. For at nå målet med 100 l/p/d kræves adfærdssændring f.eks. gennem introduktion af vandmålere og forbrugsafregnet vandafgift (Freudenthal, 2006).

#### Vandkvalitet

Vandet er kloreret. Møder med "få undtagelser" kravene sat af det svenske Livsmedelsverket (Stockholm Vatten, 2006).

#### Økonomi

Takst (husholdning): Ca. 8 DKK/m<sup>3</sup> afregnet efter boligareal og inklusiv afledningsafgift (Freudenthal, 2006). Taksten dækker omkostningerne ved vandhåndteringen (Barucq et al., 2006).

Produktions- og distributionsomkostninger er ca. 3 DKK/m<sup>3</sup> (Freudenthal, 2006).

#### Borgerinddragelse

Borgerne vejledes i vandbesparelser via bydelens miljøportal (Hammarby Sjöstad, 2006a).

#### Risici og miljøforhold

Stockholm har ikke problemer med vandressourcemængden eller kvaliteten (Freudenthal, 2006; Stockholm Vatten, 2006).

#### Forventninger til fremtiden

Det er målet at nå ned på 100 l/p/d, men det er ikke specificeret nærmere, hvordan dette mål nås (Hammarby Sjöstad, 2003; 2006b).

#### Anbefalet læsning

[www.hammarbysjostad.se](http://www.hammarbysjostad.se)

### Vurdering

Hammarby Sjöstad er interessant, fordi miljøet tænkes ind i alle dele af byplanlægningen. Der er således også fokus på at mindske vandforbruget, men spørgsmålet er, om kravet om installation af vandbesparende apparater er så meget anderledes, end hvad der sker i nybyggerier i områder med forbrugsafregnet vandafgift, som for eksempel Ørestad?

Som i tilfældet med Singapore (case 11), er der gjort meget ud af kommunikationen af planerne for Hammarby Sjöstad, og man kan løbende følge bydelens bestræbelser på at nå miljømålene på bydelens hjemmeside ([www.hammarbysjostad.se](http://www.hammarbysjostad.se)).

Hjemmesiderne for Hammarby Sjöstad og Stockholm kommune viser, at vandforbruget er et mindre fokusområde blandt de øvrige miljømål for bydelen. I den seneste revidering af miljømålene optræder

vandforbruget som et ud af ca. 35 delmål (Hammarby Sjöstad, 2006).

## Konklusion

Hammarby Sjöstad er ikke entydigt relevant i en Københavnsk sammenhæng. Ideen med at udnævne en ny bydel som et miljømæssig fokusområde er interessant, også i en international sammenhæng. Da Stockholm ikke har et særligt pres på vandressourcen, vand er meget billigt og da der ikke installeres vandmålere, er motivationen for at reducere vandforbruget nødvendigvis mindre end i andre storbyer med større pres på vandressourcen. Dette afspejles blandt andet i, at der på trods af fokus på miljømål stadig forbruges væsentligt mere vand per indbygger (ca. 150 l/p/d) end i København (ca. 120 l/p/d).

## Referencer

Barucq, C; Guillot, J.P.; Michel, F. (2006) Analysis of Drinking Water and Wastewater Services in Eight European Capitals: the Sustainable Development Perspective, BIPE, Findes på [www.stockholmvatten.se](http://www.stockholmvatten.se).

Freudenthal (2006) E-mailkorrespondance med Erik Freudenthal fra GlashusEtt - Miljöinfocenter, Stockholm, november 2006.

Hammarby Sjöstad (2006a) Internetadresse: [www.hammarbysjostad.se](http://www.hammarbysjostad.se). Sidst besøgt 14. november 2006.

Hammarby Sjöstad (2003) Miljöredovisning för Hammarby Sjöstad 2002/2003. Findes på [www.hammarbysjostad.se](http://www.hammarbysjostad.se).

Hammarby Sjöstad (2006b) Miljöprogram för Hammarby Sjöstad – Uppdatering av inriktningsmål 2005. Sammanställning 2006 03 26. Fundet på [www.hammarbysjostad.se](http://www.hammarbysjostad.se)

Stockholm Vatten (2006) Information om drikkevandsressourcen og vandbehandling fundet på internetadressen: [www.stocholmvatten.se](http://www.stocholmvatten.se) Sidst besøgt 17. november 2006.



## 3 Sekundær vandforsyning i Millenium Dome

### RECIRKULERING – REGNVAND - AFVÆRGEVAND



Millenium Dome  
Foto: Manuel/skyscrapercity.com

#### Området

Centrum for Englands år 2000 arrangementer i London. En af verdens største bygninger af sin art. Genåbner under navnet O<sub>2</sub> i løbet af 2007 efter ombygning. Bygningen er 50 m høj og 365 m i diameter. Oprindeligt designet til 12 mio. besøgende i år 2000, men var en mindre succes end forventet med 6 mio. faktiske besøgende.

#### Projekter

*Sekundær vandforsyning:* Under arrangementer kræves op mod 500 m<sup>3</sup>/d til toilet- og urinalskyl. Dette vandbehov var designet til at blive dækket af 20 % regnvand, 24 % gråt spildevand og 56 % afværgespumpning på stedet.

I år 2000 var fordelingen dog 19 % regnvand, 10 % gråt spildevand og 71 % afværgesvand. At fordelingen afviger fra designkriterierne skyldes utilstrækkeligt beholdervolumen til regnopsamling, det lave antal besøgende, og at folk brugte mindre vand til håndskyl end forventet.

Regnvandet opsamles fra taget og behandles i serie af 2 rodzoneanlæg beplantet med tagrør. Til regnvandsopsamlingen var knyttet et opsamlingsbassin på 400 m<sup>3</sup>. Gråt spildevand opsamlet fra håndvaske behandles i et biologisk luftningsfilter. Afværgesvand fra en 110 m dyb boring tilsættes hydrogen peroxid, til oxidering af hydrogensulfid og Fe<sup>2+</sup> og passerer aktivt-kulfiltre.

Vandtyperne blandes og ultra- og omvendt osmosefiltreres, klorineres og distribueres i bygningen. Distributionen af det sekundære vand etableredes med særligt markerede rør. Se også figuren næste side.

*Effektive vandinstallationer mm.:* I løbet af år 2000 udførtes flere undersøgelser af folks brug af toiletterne og effektiviteten af vandbesparende installationer.

Konklusionerne viste, at det ikke kunne betale sig at installere dobbeltskyltoiletter i herretoiletter med urinaler. Vandhaner og urinaler reguleret af infrarøde sensorer viste sig mindre vandeffektive på grund af fejlfunktion og -installation. Omvendt var der en tendens til, at skiltningen med recirkuleret vand påvirkede mænd til at bruge mindre vand til håndvask (Hills et al. 2001; Hills et al. 2002; Birks et al. 2004).

#### Tidsramme

Bygningen var kun i brug i år 2000.

#### Drivkræfter

*Vandmangel:* Projektet blev udført på grund af øget pres på vandressourcen, der skyldes befolkningstilvækst og klimaforandringer. Senere i årene 2004-2006 oplevede London den værste tørke siden 1921.

*Stigende grundvandsstand:* Industrielt og kommercielt vandforbrug i forrige århundrede var årsag til reducere af grundvandsspejlet med op til 50 meter. Siden 1970'erne er denne oppumpning aftagende, og der er nu opstået problemer med stigende grundvandsstand. Grundvandet er mange steder forurenet og ikke umiddelbart egnet til vandforsyning (Hills et al. 2001).

#### Vandforbrug

Ingen oplysninger.

#### Årsag til forbrugstendens

Ingen oplysninger.

#### Vandkvalitet

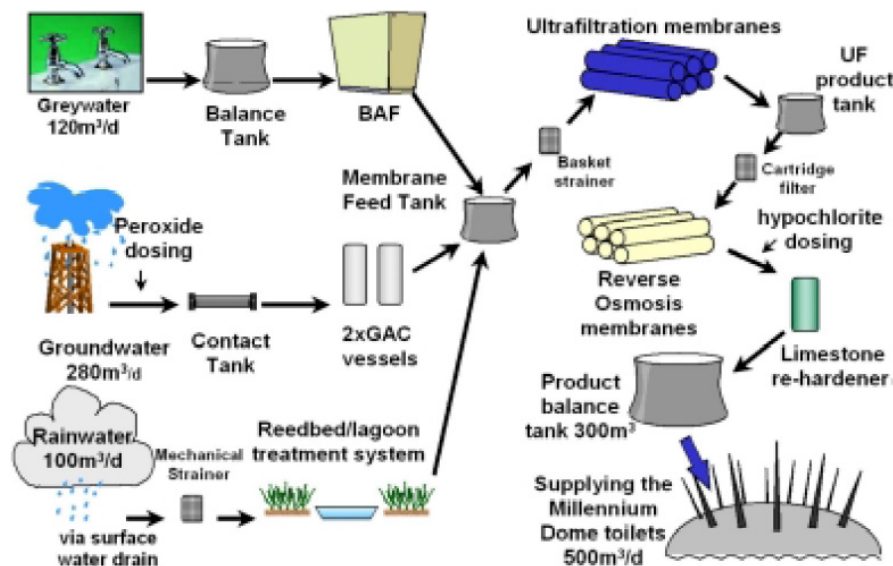
Regn og gråt spildevand indeholdt begge fækale bakterier (*E. coli*), som henholdsvis rodzoneanlæg og den biologiske filterbehandling ikke kunne reducere til under US EPA og UK BSRIA grænseværdier for vand til toiletskyl. Efter ultrafiltrering var alle grænseværdier overholdt og med de øvrige trin, omvendt osmose og kloring, konkluderedes det, at være en sikker vandforsyning til toiletskyl (Birks et al. 2004). I løbet af året forekom ingen udfældninger på installationerne (Grant, 2007).

#### Økonomi

*Investering:* Ca. 27 mio. kr. i 2000.

*Driftsomkostninger:* Ca. 6 mio. kr. svarende til 83 kr. per sparet m<sup>3</sup>.





Oversigt over det sekundære vandsystem i Millenium Dome år 2000. Det tilføjes at koncentrat fra membranfiltreringen tilbageledes til rodzoneanlægget (reedbeds). Fra Smith et al. (2001).

### Omkostningsdækning

Ingen oplysninger.

### Politisk modenhed

Ingen oplysninger.

### Borgerinddragelse

En udstilling, i forbindelse med projektet, fortalte folk om vandforsyning og principperne bag recirkuleringsprojektet.

### Forbrugeraccept

En spørgeskemaundersøgelse viste, at 95 % af de besøgende var positive overfor recirkulering af vand til toiletskyl (Hills et al. 2002).

### Teknisk modenhed

Problemerne med de vandbesparende installationer understreger behovet for opmærksomhed omkring den praktiske udførelse af nye højteknologiske installationer, så tiltagende ikke får en effekt modsat af det ønskede.

### Risici

Se *vandkvalitet*.

### Miljøforhold

Den sekundære vandforsyning dækkede 55 % af Millenium Domes samlede vandforbrug (131.000 m³) i år 2000. Energiforbruget kendes ikke (Grant, 2007).

### Forventninger til fremtiden

Thames Water er ikke bekendt med, om den sekundære forsyning fortsætter efter genåbningen af bygningen i 2007 (Grant, 2007).

### Anbefalet læsning

Hills et al. (2002).

## Vurdering

Projektet demonstrerede, at udnyttelse af regnvandsressourcen besværliggøres af manglende plads til beholdervolumen. På trods af det store tagareal (~0,4 km²) og opsamlingstanken på 400 m³ lykkedes det kun at få dækket 10 % af vandbehovet med regnvand. Oppumpningen af forurennet grundvand var det absolut største bidrag til den sekundære vandforsyning. Denne form for udnyttelse af sekundærgroundvand/ afværgvand kan også være interessant for København.

Den grundige undersøgelse af folks toiletvaner afslørede blandt andet kønsforskelle i vandforbruget til håndvask samt at skiltning alene omkring vandbesparende tiltag fik folk til at reducere deres vandforbrug (Hills et al. 2002).

Desværre havde projektet væsentlige problemer med fejlinstallationer, der gjorde at de ellers vandbesparende tiltag i nogle tilfælde viste sig mindre effektive end konventionelle installationer. Infrarøde sensorer ved håndvasken var for eksempel indstillet til for langt skyl og brugte næsten den dobbelte mængde vand per håndvask i forhold til den almindelige vippehane. Da projektet kun kørte i et år, er det svært at udlede noget om stabiliteten af systemet over tid, for eksempel om rodzoneanlægget vil stoppe til. Endeligt var projektet dyrt med hensyn til investering og driftsomkostninger. Dette kunne tillades på grund af karakteren af at være et demonstrationsprojekt, men er sikkert medvirkende årsag til, at projektet

formentlig ikke fortsætter efter genåbningen af bygningen i 2007.

## Konklusion

Millenium Dome viste, at det er muligt at erstatte en væsentlig del (55 %) af bygningens vandforbrug med sekundære vandressourcer, uden ekstra risici eller gener for brugerne. Dog var det et dyrt projekt med en del "fødselsproblemer", blandt andet vandbesparende installationer, der på grund af fejlindstilling virkede stik mod hensigten og øgede vandforbruget. Der kan derfor høstes nogle vigtige erfaringer omkring den praktiske udførsel af installationerne.

## Referencer

Birks, R.; Colbourne, J.; Hills, S.; Hobson, R. (2004) Microbiological water quality in a large in-building, water recycling facility. Water Science and Technology. Vol. 50 no 2.

Grant, E. (2007) Email-korrespondance med Elizabeth Grant fra Thames Water Research and Development, januar 2007.

Hills, S.; Smith, A.; Hardy, P. og Birks, R. (2001) Water recycling at the Millenium Dome. Water Science and Technology. Vol. 43 no. 10.

Hills, S.; Birks, R. and McKenzie, B. (2002) The Millenium Dome "Watercycle" experiment: to evaluate water efficiency and customer perception at a recycling scheme for 6 million visitors. Water Science and Technology. Vol. 46 no 6-7.

Smith, A.J., Hardy, P., Lodge, B. (2001) Alternative water sources and technologies for non-potable reuse. Artikel til 74<sup>th</sup> WEFTECH conference, Atlanta, Georgia, USA.

Thames water (2002) Water recycling and reuse. Brochure findes på [www.thames-water.com](http://www.thames-water.com).

## 4 Recirkulering via grundvand i Wulpen

### RECIRKULERING



#### Området

Intercommunale Waterleidingsmaatschappij van Veurne-Ambacht (IWVA), Vestlige Flandern, Belgien. Ca. 375 km<sup>2</sup> med omtrent 60.000 indbyggere, dog nærmere 250.000 i turistsæsonen. Turist- og landbrugsområde.

Vandressourcerne består af grundvand fra 2 klitområder (St. André og Westhoek) samt importeret vand fra naboområde i Frankrig (IWVA, 2006a).

#### Projekter

*Recirkulering via klitområde:* Tertiært behandlet spildevand (hovedsageligt fra husholdninger) desinficeres, ultrafiltreres og pumpes igennem et brakvands omvendt osmose-anlæg. En blanding af ultrafiltreret (10 %) og RO-filtreret (90 %) vand infiltreres til klitterne via en 18.200 m<sup>2</sup> stor dam, se figuren næste side. Blandingen sikrer en remineralisering af det filtrerede vand. Der indvindes vand mindst 40 meter fra bredden af infiltrationsdammen. Det indvundne vand leveres som drikkevand efter luftning og sandfiltrering.

I alt infiltreres ca. 2,5 mio. m<sup>3</sup> rensat spildevand/år, og der indvindes ca. 3,5 mio. m<sup>3</sup> drikkevand/år fra samme klitområde.

Infiltration af spildevand medvirker også til at begrænse saltvandsindtrængning fra Nordsøen (Houtte et al., 2004; IWVA, 2006b).

#### Tidsramme

Færdigbygget 2002.

#### Drivkræfter

Øget turisme og befolkning i området har skabt behov for mere drikkevand. Det kystnære områdes vandforsyning er baseret

på indvinding af ferskvand fra klitter, der i stigende grad påvirkes af indtrængende havvand (Houtte et al. 2004).

### Vandforbrug

I Belgien har den leverede vandmængde været jævn omkring 160 l/p/d i perioden 1997-2004 (IWA, 2006).

#### Årsag til forbrugstendens

Ingen oplysninger.

#### Vandkvalitet

Det leverede vand opfylder Flanderns regerings krav til drikkevand af 13/12/2002. Det leverede vand tjekkes ugentligt, både før og efter distribution. Vandet er blødere og klarere end før recirkuleringen. Normalt klorer vandet ikke inden distribution, men klor-anlæg eksisterer som back-up (IWVA, 2006a; Houtte, 2006).

#### Økonomi

*Takst:* Ca. 11 kr./m<sup>3</sup>.

*Produktion:* Ca. 11 kr./m<sup>3</sup> inkl.

investeringer. Investeringen i forbindelse med recirkuleringsanlægget var ca. 56 mio. kr. (Houtte, 2006).

**Omkostningsdækning:** Offentligt selskab, der skal løbe rundt uden tilskud ude fra. Projektet i Torreele er dækket af en forhøjelse af vandafgiften (Houtte, 2006).

#### Politisk modenhed

Ingen oplysninger.

#### Borgerinddragelse

Ingen oplysninger.

#### Forbrugeraccept

Belgien har et af verdens højeste forbrug af flaskevand på 150 l/p i 2004, og det har været stigende siden 1999 (EPI, 2006; EFBW, 2006). IWVA mener, at folk er positive overfor det leverede vand (Houtte, 2006).

#### Teknisk modenhed

Systemet kører i fuld skala og har gjort det siden 2002 (IWVA, 2006a).

#### Risici

Systemet består af flere barrierer mod farlige stoffer og mikroorganismer. De væsentligste barrierer er desinfektion, ultrafiltrering, omvendt osmose, filtrering og opblanding i grundvandszonen.

#### Miljøforhold

I perioden 2003-2006 har det gennemsnitlige elforbrug i recikuleringsanlægget været 0,84 kWh/m<sup>3</sup>. Koncentratet fra ultra- og RO-filtreringen udledes til Nordsøen via kanal, der i forvejen udledte spildevandet. Der er



Infiltrationsdam i Wulpen. Gengivet med tilladelse fra I.W.V.A.

ikke registreret negative konsekvenser af udledningen (Houtte, 2006).

### Forventninger til fremtiden

Ingen planer om ændringer de næste 5 år (Houtte, 2006).

### Anbefalet læsning

[www.iwva.be](http://www.iwva.be)

### Vurdering

Anlægget i Wulpen er et Europæisk eksempel på indirekte genanvendelse af spildevand i vandforsyningen. Størstedelen af det recirkulerede spildevand stammer fra husholdninger, hvilket minder om situationen i København. Recirkuleringen medfører, at omtrent 70 % af den indvundne vandmængde erstattes af brugt vand og dermed reducerer nettoindvindingen ganske betragteligt. Den tilgængelige information viser ikke klart, om der er foretaget en risikovurdering af ophobning af farmaceutika og andre forurenende stoffer i systemet eller grundvandsmagasinet. Anlægget er så stort, at det vil kunne tjene som back-up eller supplement til en by på størrelse med København. Sandklitterne har formentlig en høj konduktivitet, der sikrer en høj infiltrationsrate af det infiltrerede vand. Det er uklart, om lignende infiltrationsrater vil kunne opnås nær København. Det høje forbrug af flaskevand i Belgien kan skyldes en vis utilfredshed eller mistillid til den almindelige vandforsyning på trods af, at vandet er klassificeret som drikkevand. Ifølge IWVA er vandet dog accepteret af brugerne og det leverede vand er med

hensyn til hårdhed og klarhed af en bedre kvalitet end tidligere.

### Konklusion

Recirkulering af spildevand via grundvandsmagasinet er spændende i forhold til København, der også baserer sin vandforsyning på grundvand. Den indirekte recirkulering er etableret med mange barrierer for uønskede stoffer. Der er en del uafklarede spørgsmål med hensyn til risiko for ophobning af uønskede stoffer, men projektet viser, at planlagt indirekte recirkulering af spildevand som drikkevand eksisterer i Europa.

### Referencer

- EFBW (2006) The bottled water industry in figures. The European Federation of Bottled Water hjemmeside: <http://www.efbw.org/about/industry>. Sidst besøgt januar 2006.
- EPI (2006) Bottled water: Pouring resources down the drain. Hjemmeside: Earth Policy Institute. Findes på [http://www.earth-policy.org/Updates/2006/Update51\\_data.htm](http://www.earth-policy.org/Updates/2006/Update51_data.htm). Sidst besøgt januar 2007.
- IWA (2006) International statistics for water services, Beijing 2006. IWA Specialist group Statistics and Economics.
- IWVA (2006a) Hjemmeside for IWVA: [www.iwva.be](http://www.iwva.be). På hollandsk. Sidst besøgt januar 2007.
- IWVA (2006b) Torreele. Production of infiltration water out of effluent. Brochure, findes på [www.iwva.be/page.jsp?id=39&parentId=34](http://www.iwva.be/page.jsp?id=39&parentId=34).
- Houtte, E. (2006) Emailkorrespondance med Emmanuel Houtte fra IWVA, januar 2007.
- Houtte, E.v.; Verbauwheide, J.; Bach, S.; og Brockmann, M. (2004) Aufbereitung von gereinigtem Abwasser zu Rohwasser für die Trinkwasserversorgung in Flandern (Belgien). Kommunale Abwasserbehandlung Abwasser, Abfall. Årgang 51 nr. 7, s. 754-759.



## 5 Recirkulering af spildevand på Costa Brava

### RECIRKULERING



Llorat de Mar, Costa Brava  
Foto: Wikipedia.org

#### Området

Turist- og landbrugsområde i Nordøst-spanien. Der bor ca. 200.000 faste indbyggere i de 27 kommuner langs Costa Brava, men sommerens turister øger tallet til over 1 mio. i august. Consorci de la Costa Brava er ansvarlig for en række recirkuleringsprojekter og leverer derudover vand til områdets kommuner.

#### Projekter

Der er flere projekter i gang, heraf et eksempel:

*Recirkulering i Blanes:* Recirkulering af op til 700 m<sup>3</sup>/time rensat spildevand. Efter sekundær behandling tilsættes koagulanter og flokulanter. Bundfældningstanke og sandfiltre fjerner dernæst større og mindre partikler og flokke. Vandet UV-belyses og klorineres, hvorefter det infiltreres til grundvandet nær Tordera-floden. I 2003-2005 infiltreredes 8,6 mio. m<sup>3</sup> af i alt 11,8 mio. m<sup>3</sup> behandlet spildevand. Renset spildevand, der ikke recirkuleres, udledes til Middelhavet (Costan et al. 2006).

#### Tidsramme

Blanes' anlæg har eksisteret siden 2003. Men recirkuleret spildevand har været brugt til vanding af landbrug og golfbaner på Costa Brava siden 1980'erne (Sala og Serra, 1999).

#### Drivkræfter

*Vandmangel:* Turistindustrien og landbruget har et højt vandforbrug. Ønske om øget allokering af vand til naturområder (Sala, 2007b).

*Sikring af badevandskvalitet:* De mange kilometer strand har en "god til meget god badevandskvalitet" jf. EU-normer, hvilket

skyldes mange års fokus på spildevandsrensning og -udledning i området (Sala og Serra, 1999).

#### Vandforbrug

*Total:* Ca. 35 mio. m<sup>3</sup>/år (Sala, 2007b).

Der blev recirkuleret 6,3 mio. m<sup>3</sup> spildevand i 2005 fordelt på kunstig grundvandsdannelse 51 %, naturgenopretning inkl. overskydende produktion 29 %, golfbaner og anden vanding 12 %, vanding af afgrøder 6 % og ikke-drikkevandsbrug i byerne 2 % (Sala, 2007b).

*Husholdning:* Der er næsten ingen industri i området, så det må antages, at det meste vand bruges i forbindelse med hjemmet, herunder hoteller og til vanding mm.

#### Årsag til forbrugstendens

Ingen oplysninger.

#### Vandkvalitet

Det recirkulerede vand fra Blanes er testet for uønskede bestanddele i perioden 2003-2006, herunder *E. coli*, nematode-parasitæg, salmonella, legionella, pesticider og andre organiske stoffer mm. Koncentrationerne, der for de fleste parametre har været under detektionsgrænsen, er vurderet til at være acceptable for brugen af vandet (Costan et al. 2006). Tungmetalkoncentrationen i slammet fra rensningsanlæggene er lavere end EU's grænseværdier for slam, der bruges i landbruget. Der er ikke testet for farmaceutiske stoffer, som må antages at være til stede i spildevandet (Sala, 2007b).

#### Økonomi

*Takst:* Ingen oplysninger.

*Produktion af recirkuleret vand:* Ca. 0,40 kr./m<sup>3</sup> eksklusive investerings omkostninger (Costan et al. 2006).

#### Omkostningsdækning:

Ingen oplysninger.

#### Politisk modenhed

Der udvides fortsat med flere recirkuleringsprojekter i området, men der har været stor debat om den acceptable brug af vandet, se *Vurdering* nedenfor.

#### Borgerinddragelse

Recirkuleringsprojekterne har udviklet sig trinvis fra små vandingsprojekter af golfbaner til det nuværende niveau. Gennem tiden er der opbygget tillid i befolkningen til brugen af recirkuleret vand og Consorci de la Costa Brava, der har ansvaret for recirkuleringen (Sala, 2007b).



Udløbet af recirkuleret vand fra Blanes-anlægget til bredden af Tordera-floden. Foto: Lluís Sala, Consorci de la Costa Brava.

### Forbrugeraccept

Vanding af for eksempel golfbaner med recirkuleret vand er så accepteret, at befolkningen formentlig ikke ønsker det anderledes. Consorci de la Costa Brava modtager ingen klager over recirkuleringen (Sala, 2007b). Vanding af afgrøder er dog genstand for debat, se *Vurdering* nedenfor.

Forbruget af flaskevand i Spanien er blandt de højeste på verdensplan med 137 l/p/år i 2004. Tallet repræsenterer en stigning på 34 % siden 1999 (EPI, 2006).

### Teknisk modenhed

Recirkuleringsanlæggene udvikles og optimeres løbende, især med fokus på at sikre effektive barrierer for spredning af patogene mikroorganismer.

### Risici

Andre recirkuleringsprojekter på Costa Brava har haft klorinering som primær desinfektionskilde, det ekstra trin med UV-belysning har mindsket risikoen for at patogene mikroorganismer overlever behandlingen (Costan et al. 2006). Det bemærkes, at risikoen for forurening af grundvandet med farmaceutiske stoffer ikke er undersøgt.

### Miljøforhold

En del af det recirkulerede vand bruges til genopretning af naturområder. Optimering af spildevandsbehandlingen har også forbedret vandkvaliteten ud for kysten (Sala, 2007a; Sala, 2007b).

### Forventninger til fremtiden

Der forventes en fortsat udvidelse af recirkuleringsanlæggene og brug af vandet. Udvidelserne drejer sig blandt andet om vanding af majsmarker, vanding af den eneste golfbane, der endnu ikke benytter recirkuleret vand og distribution til ikke-drikkevandsformål i byerne Lloret de Mar og Tossa de Mar. Hver især små projekter, men tilsammen en bred vifte af anvendelser.

### Anbefalet læsning

Sala, L. og Serra, M. (1999).

### Vurdering

Blanes recirkuleringsprojektet er et eksempel på et simpelt anlæg, der til meget lave driftsomkostninger leverer vand til kunstig grundvandsdannelse og samtidig reducerer belastningen af spildevands-recipienterne. Projektet er kun et af flere på Costa Brava, hvor både kunstig grundvandsdannelse og opretholdelse af vandstanden i vådområder fungerer som svar på vandrammedirektivets øgede krav til kvaliteten af søer og vandløb (EU, 2000). Dette har også relevans for Københavns vandforsyning.

På trods af at recirkuleringsprojekterne i almindelighed er accepteret i området, var der især omkring Blanes-projektet en del debat. I starten var projektet designet til at skabe vand til vanding af afgrøder for derigennem at spare grundvandsressourcen. Den lokale landbrugsforening var stærk

modstander af dette og startede en kampagne mod brugen af vandet til vanding af afgrøder, begrundet i risikoen for spredning af sygdomme. Consorci de la Costa Brava, der er ansvarlig for recirkuleringen, har ellers vist, at deres vand har væsentligt færre fækale mikroorganismer end det flodvand, som allerede bruges til vanding af alle slags grøntsager, inklusiv afgrøder der spises rå. Consorci de la Costa Brava ændrede projektet og forbedrede næringsstoffjernelsen, så det recirkulerede vand i stedet kan infiltreres til grundvandet. Man foretrækker altså, at vandet infiltreres til akviferen, der anvendes til drikkevandsforsyning, frem for at det bruges til vanding af afgrøder. De få landmænd i området, som trodser landbrugsforeningen og accepterer recirkuleret vand på deres marker, har haft en fordel af at kunne opretholde og ligefrem forbedre høsten i de seneste 2 tørre år (Sala, 2007b).

Sala, L. (2007b) Emailkorrespondance med Lloís Sala fra Consorci de la Costa Brava, januar.

## Konklusion

Costa Bravas mange spildevandsanlæg recirkulerer knap 20 % af vandforbruget i området. Samtidigt reduceres belastningen af recipienterne, da udløbet til naturen er af en bedre kvalitet end traditionelt rensset spildevand.

Casen viser også, at recirkulering på en gang kan være udbredt og accepteret og dog stadig blive genstand for heftige debatter, der kan lade beslutningstagere basere deres afgørelser på den opfattede vandkvalitet, frem for den tekniske kvalitet.

## Referencer

Costan, A.; Dalmau, E.; Jofre, J.; Lucena; F.; Montemayor, M.; Mujeriego, R.; Payán, A.; Sala, L. og Soler, M. (2006) Combined action of disinfectant agents at the Blanes water reclamation plant. Universitat de Barcelona, Universitat Politècnica de Catalunya, Aència Catalana de l'Aigua, Consorci de La Costa Brava og Aigües de la Costa Brava.

EPI (2006) Bottled water: Pouring resources down the drain. Hjemmeside: Earth Policy Institute. Findes på [http://www.earth-policy.org/Updates/2006/Update51\\_data.htm](http://www.earth-policy.org/Updates/2006/Update51_data.htm). Sidst besøgt januar 2007.

EU (2000) EU Water framework directive. Directive 2000/60/EC of the European parliament and of the council of 23 October 2000.

Sala, L. og Serra, M. (1999) Water resource management on the Costa Brava. Water quality international.

Sala, L. (2007a) El uso del agua regenerada en la recreación y restauración de ecosistemas acuáticos: la experiencia práctica en la costa brava. Præsentation på II Congreso sobre Restauración de Ríos y Humedales, Tarragona, 23-25 januar 2007.



## 6 Bank-infiltration og kunstig grundvandsdannelse i Berlin

### RECIRKULERING



Beelitzhof vandværk, Berlin  
Foto: Berliner Wasserbetriebe

### Området

Storby, Tyskland med 3,4 mio. indbyggere på 889 km<sup>2</sup>. Berlin baserer sin vandforsyning på grundvand alene, heraf stammer ca. 70 % fra bankinfiltration og kunstigt infiltreret vand fra søer og floderne Spree og Havel (Heinzmann, 2005a). Da udledningen af spildevand foregår til de samme søer og floder, er der tale om indirekte recirkulering af spildevand i vandforsyningen. Et enkelt vandværks indvinding er estimeret til at have 14-28 % rensat spildevand i perioden 1993-1997, mens andelen i de øvrige vandværks indvindinger generelt var "meget lavere, men kan nå 11 %" (Ziegler, 2001).

### Projekter

*Grundvandsindvinding:* Indvindingen foregår nær søernes og flodernes bredder, så det generelle grundvandspejl sænkes. Derved forøges den naturlige indsivning af vand fra floderne og søerne.

*Kunstig infiltration:* Nær indvindingspladserne infiltreres overfladevand til grundvandsmagasinet via damme.

*Drikkevandsbehandling:* Behandlingen af drikkevand er så simpel som mulig med luftning og hurtigfiltrering før distribution.

### Tidsramme

Basis for Berlins nuværende vandforsyning.

### Drivkræfter

Vandindvindingen foregår i et øvre grundvandmagasin, der både er truet af sænkning og optrængning af salt grundvand fra et nedre grundvandmagasin.

### Vandforbrug

*Husholdning:* Faldende forbrug fra 138 l/p/d i 1992 til 110 l/p/d i 2005.

*Total forbrug:* I alt 199 mio. m<sup>3</sup> i 2005. Faldende fra 214 l/p/d i 1992 til 160 l/p/d i 2005.

(BWB, 2006)

### Årsag til forbrugstendens

Faldet i det totale vandforbrug siden 1992 fordeler sig på husholdning (52 %), erhverv og industri (19 %) og andet (29 %) (BWB, 2006).

### Vandkvalitet

Den tyske vandforsyningsbranche er selv-regulerende med hensyn til drikkevandskvalitet og lever op til krav sat af den uafhængige non-profit virksomhed DVGW (Deutsche Vereinigung des Gas- und Wasserfaches) (BWB, 2006). Se endvidere risici.

### Økonomi

*Takst:* 16 kr./m<sup>3</sup>, heraf 2 kr./m<sup>3</sup> grundvandafgift til kommunen (BWB, 2006).

*Produktion:* Ingen oplysninger

### Omkostningsdækning:

Vandforsyningen er delvist kommunalt og privat ejet med henholdsvis 50,1 og 49,9 % af aktierne. Vandafgiften skal dække omkostningerne ved produktionen, men må dog ikke "væsentligt overstige værdien af det leverede vand for kunderne" (WVGW, 2005). Vandforsyningen i Berlin genererede et overskud på henholdsvis 243 og 119 mio. kr. i 2005 og 2004.

### Politisk modenhed

Politisk moden i det, at det er basis for Berlins nuværende vandforsyning.

### Borgerinddragelse

Borgerne inddrages ikke direkte i vandforsyningen.

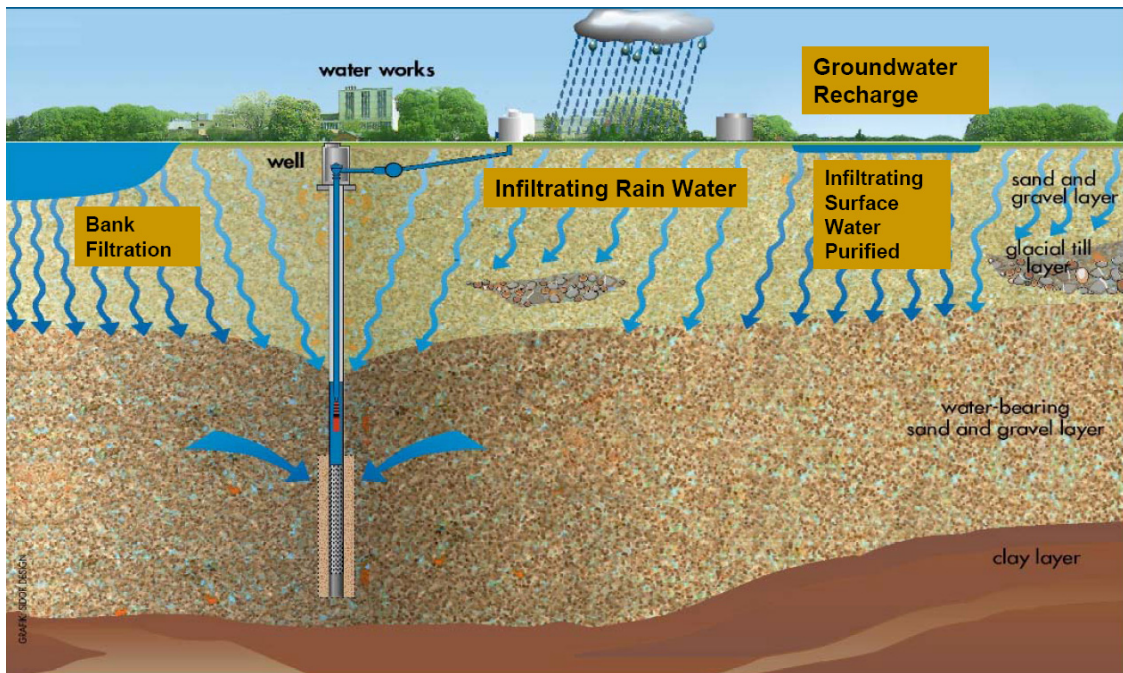
### Forbrugeraccept

En landsdækkende forbrugerundersøgelse viste, at mere end 90 % af tyskerne er tilfredse med den generelle drikkevandskvalitet i 2005, og 80 % angav at de drikker vandet (WVGW, 2005). Forbruget af flaskevand var i 2004 ca. 125 l/p/år, hvilket er en stigning på 25 % siden 1999 (EFBW, 2006; EPI, 2006).

### Teknisk modenhed

Teknisk moden i det, at det er basis for Berlins nuværende vandforsyning.





Principskitse af bank-infiltration og kunstiginfiltration i Berlin. Fra Heinzmann (2005b).

### Risici

Der er udført mange undersøgelser af både overflade-, grund- og drikkevandskvalitet i Berlin. Der findes lave koncentrationer (0-170 ng/l) af farmaceutiske stoffer i drikkevand, baseret på bank-infiltration og kunstig infiltration. Netop farmaceutiske stoffer menes at være mere tungt-nedbrydelige og mere mobile end andre stoffer, der ellers bruges som indikatorer for udbredelsen af spildevand i det hydrologiske system. De rapporterede koncentrationer vurderes ikke at være skadelige for mennesker (Heberer, 2002; Heinzmann, 2005a).

Ingen oplysninger om forsynings-backup på kort eller langt sigt.

### Miljøforhold

Energiforbruget kendes ikke, men antages at være på niveau med KE's vandforsyning pga. af den simple vandbehandling.

### Forventninger til fremtiden

Der forskes i, hvordan udledningen af farmaceutiske stoffer og andre uønskede stoffer kan begrænses i rensningen af spildevandet (Heinzmann (2005a).

Den tyske vandforsyningsbranche forventer ikke at kunne reducere vandforbruget væsentligt fra det nuværende niveau (WVWG, 2005).

### Anbefalet læsning

Heinzmann (2005a)

## Vurdering

Berlins vandforsyning minder om Københavns på to væsentlige punkter: For det første er begge byers vandforsyning primært baseret på grundvand. For det andet er Tyskland, ligesom Danmark, blandt Europas bedste til at spare på vandet. Berlin er udvalgt, fordi den repræsenterer den type vandforsyninger, hvor der foregår ikke-planlagt indirekte recirkulering. "Ikke-planlagt" i den forstand, at recirkuleringen ikke er tænkt som en tilbageførsel af spildevand i vandforsyningen, men i stedet en erkendelse af at spildevand optræder i store mængder i de lokale vandressourcer.

Der er udført omfattende undersøgelser af vandbalancen i Berlin, og der er fokus på at følge de miljøfremmede stoffers vej fra spildevandsanlæg til drikkevandsbehandling. På trods af farmaceutiske stoffer i drikkevandet er det accepteret til drikkevandsbrug i Tyskland. Det høje flaskevandssalg, og det faktum at kun 80 % af befolkningen drikker vandet, kan være resultatet af en generel skepsis hos den tyske befolkning over kvaliteten af det leverede vand, men det modsvares delvist af den ellers store tilfredshed med den generelle vandkvalitet.

## Konklusion

Berlins vandforsyning viser, at recirkulering af spildevand også eksisterer i stor skala i Nordeuropa. Casen er interessant som eksempel på problematikker i forbindelse

med indirekte recirkulering af  
husholdningsspildevand.

## Referencer

BWB (2006) Berliner Wasserbetriebe. Hjemmeside:  
[www.bwb.de](http://www.bwb.de). Senest besøgt januar 2007.

EFBW (2006) The bottled water industry in figures. The  
European Federation of Bottled Water hjemmeside:  
<http://www.efbw.org/about/industry>. Sidst besøgt  
januar 2006.

EPI (2006) Bottled water: Pouring resources down the  
drain. Hjemmeside: Earth Policy Institute. Findes på  
[http://www.earth-  
policy.org/Updates/2006/Update51\\_data.htm](http://www.earth-policy.org/Updates/2006/Update51_data.htm). Sidst  
besøgt januar 2007.

Heberer, T. (2002) Tracking persistent pharmaceutical  
residues from municipal sewage to drinking water.  
Journal of Hydrology 266 s. 175-189.

Heinzmann (2005a) Occurrence and behaviour of trace  
substances in the partly closed water cycles of Berlin  
and its relevance to drinking water. International  
workshop on rainwater and reclaimed water for urban  
sustainable water use, University of Tokyo, Japan, 9-10  
juni 2005. Findes på [http://env.t.u-  
tokyo.ac.jp/furumailab/crest/e/index.htm](http://env.t.u-tokyo.ac.jp/furumailab/crest/e/index.htm).

Heinzmann (2005b) Occurrence and behaviour of trace  
substances in the partly closed water cycles of Berlin  
and its relevance to drinking water. Præsentation fra  
International workshop on rainwater and reclaimed  
water for urban sustainable water use, University of  
Tokyo, Japan, 9-10 juni 2005. Findes på [http://env.t.u-  
tokyo.ac.jp/furumailab/crest/e/index.htm](http://env.t.u-tokyo.ac.jp/furumailab/crest/e/index.htm).

WVGW (2005) Profile of the German water industry  
2005. Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und  
Wasser, Bonn. Findes på  
[http://www.dvgw.de/en/news/waterindustryprofile2005  
.html](http://www.dvgw.de/en/news/waterindustryprofile2005.html).

Ziegler, D.H. (2001) Untersuchungen zur nachhaltigen  
Wirkung der Uferfiltration im Wasserkreislauf Berlins.  
PhD-afhandling. Technischen Universität Berlin.  
Tyskland.

## 7 Integreret brug af regnvand i Berlin

### REGNVAND



#### Området

Potsdamer Platz, centrum af Berlin. I 1990'erne en af Europas største byggepladser med et grundareal på 100.000 m<sup>2</sup>, heraf 48.000 m<sup>2</sup> tagareal og 12.000 m<sup>2</sup> vandområder. Områdets 19 bygninger har et samlet etageareal på 550.000 m<sup>2</sup> inkl. 175.000 m<sup>2</sup> kontorareal og 600 boliger. Derudover findes teater, biograf, butikker mm. Berlin modtager ca. 590 mm regn pr. år.

#### Projekter

##### *Opsamling af regnvand:*

Regnvandsopsamling blev integreret i designet af bygninger, så der årligt kan håndteres 23.000 m<sup>3</sup> regnvand. Vandet renses først via 20.000 m<sup>2</sup> grønne tage og dernæst 1900 m<sup>2</sup> grønne bede på grundniveau. Vand, der ikke fordamper, opsamles til toiletskyl, vanding af grønne arealer og kunstige vådområder. Vandet opsamles i cisterner (2600 m<sup>3</sup>) under jorden og i områdets kanaler og damme. Det samlede beholdervolumen er ca. 15.000 m<sup>3</sup>. Vandet, der cirkuleres i kanaler og damme, kan filtreres i sandfilter, og alger fjernes med mikrofiltrering, når det er nødvendigt. Ved fuld effekt af rensningsanlægget har vandet en opholdstid på 5 dage i de udendørs søer og damme. Afstrømningen fra området vurderes at være reduceret med 75 % (Dreiseitl et al. 2001; Teschner, 2005; Meisel, 2007).

#### Tidsramme

Planlægning startede i 1994, og konstruktion af vandkredsløbet foregik 1997-98.

#### Drivkræfter

Ønske om reduceret overløb fra kloak under kraftig regn samt at vand skulle skabe et rekreativt element blandt områdets kontorer, boliger og forretninger (Schmidt, 2000).

#### Vandforbrug

Ingen oplysninger.

#### Årsag til forbrugstendens

Ingen oplysninger.

#### Vandkvalitet

Vandet bruges til toiletter, og der er ikke observeret forskel i funktionen af toiletter forsynet med drikkevand og regnvand (Vellberg, 2007).

Vandet i det udendørs vandmiljø har klart vand året rundt, og der lever flere fiskearter, dog må flydende alger til tider fjernes ved hjælp af dinatriumcarbonat hydrogenperoxid (Meisel, 2007).

#### Økonomi

Ønskes ikke oplyst, men anlægget får tilsyn hver 3. uge af et firma med speciale i vandøkologi (Meisel, 2007).

#### Omkostningsdækning:

Ingen oplysninger.

#### Politisk modenhed

Projektet er gennemført uafhængigt af Berlins vandforsyning og det lokale styre, og der er for tiden ikke politisk fokus på regnvandsopsamling i Berlin (Teschner, 2007).

Projektet får dog en del opmærksomhed og besøgende fra både ind- og udland, der vil vide mere om projektet (Vellberg, 2007).

#### Borgerinddragelse

Ingen oplysninger.

#### Forbrugeraccept

Ingen oplysninger.

#### Teknisk modenhed

Projektet er baseret på simple teknikker og har ifølge firmaet, der foretager det løbende vedligehold, fungeret upåklageligt hele levetiden.

#### Risici

Ingen oplysninger.

#### Miljøforhold

Projektet har skabt et attraktivt vandmiljø i byen og er med til at sænke temperaturen i bykernen. Et grønt tag i Berlin forventes således at køle 300 kWh/(m<sup>2</sup>·år) gennem evapotranspiration (Köhler et al. 2002).





Potsdamer Platz. Fra (Dreiseitl et al. 2001).

### Forventninger til fremtiden

Ingen oplysninger.

### Anbefalet læsning

Dreiseitl et al. (2001)

### Vurdering

Potsdamer Platz er et interessant eksempel på, hvordan håndteringen af regnvand kan tænkes ind i tæt bebyggede områder og tjene flere samtidige formål. Regnvandsopsamlingen begrænser afstrømningen med ca. 75 % og forsinker afløbet fra de 10 hektar området dækker. Opsamlingen af regnvand reducerer anvendelsen af drikkevand til toiletskyl og er samtidigt med til at skabe et flot vandmiljø for områdets brugere. Sidst men ikke mindst er de grønne tage og åbne vandflader med til at sænke temperaturen i området, hvilket forbedrer det lokale klima og sparer energi til nedkøling i sommerperioden. Firmaet, der har det løbende opsyn med vandet på Potsdamer Platz, mener, at sådanne projekter er succesfulde, hvis der allerede tidligt i projektplanlægningen tilknyttes eksperter i både vandrensning og vandøkologi (Meisel, 2007).

Da Berlins kultur og klima er meget lig Københavns, kan erfaringer direkte overføres mellem de to byer. Desværre er bygherren Daimler-Chrysler ikke særligt åben omkring projektet, hvilket også betyder, at informationer vedrørende investeringen og driften af anlægget ikke kendes.

### Konklusion

Casen viser fordelene ved at tænke en integreret regnvandshåndtering ind i starten af større byggeprojekter og dermed spare på

spildevandshåndtering, drikkevandsforsyning og skabe et bedre miljø i et tæt byområde.

### Referencer

Köhler, M., Schmidt, M., grimme, F.W., Laar, M., Paiva, V.L.A. og Tavares, S. (2002) Green roofs in temperate climates and in the hot humid tropics – far beyond the aesthetics. Environmental management and health, vol. 13 no. 4. s. 382-391.

Dreiseitl, H., Grau, D. og Ludwig, K.H.C. red. (2001) Waterscapes, planning, building and designing with water. Birkhäuser, Berlin.

Meisel, J. (2007) Email-korrespondance med Jens Meisel fra Institut für angewandte Gewässerökologie GmbH, der fører tilsyn med anlægget på Potsdamer Platz, februar 2007.

Schmidt, M. og Teschner, K. (2000) Kombination von Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen: Ergebnisse der Voruntersuchungen für das Projekt Potsdamer Platz. Teil 1: soffrückhalt extensiver dachbegrünung. Wasser – Abwasser nr. 10 s. 670-675

Teschner (2005) Constructed wetlands in innovative decentralised urban rain water management. The 5<sup>th</sup> international workshop on rainwater harvesting, Seoul National University, Korea. 6-8 october 2005.

Teschner, K. (2007) Email-korrespondance med tidligere projektdeltager Katharina Teschner fra TU Berlin, februar 2007.

Vellberg, W.U.v. (2007) Email-korrespondance med Ute Wüest von Vellberg fra Daimler-Chrysler, der var byggherre på projektet. Februar 2007.

## 8 Recirkulering af spildevand i Orange County Water District

### RECIRKULERING



#### Området

Vandressourcedistrikt syd for Los Angeles, Californien med 2,3 mio. indbyggere på 900 km<sup>2</sup>.

#### Projekter

*Kunstig infiltration:* Vand fra Santa Ana River, Colorado River og kanalsystemet "State Water Project" ledes til en række infiltrationsbassiner langs Santa Ana River, hvor undergrunden har høj permeabilitet, så udledningen af ferskvand til Stillehavet minimeres.

*Recirkulering af spildevand som saltvandsbarriere:*

*Indtil 2007, Water Factory 21:* En blanding af omvendt osmose-filtreret, aktivt-kul-filtreret vand og grundvand fra dybe borerer injiceredes langs kysten for at forhindre saltvandsindtrængning og samtidig forøge den tilgængelige grundvandsressource med ca. 21 mio. m<sup>3</sup>/år (Orange County Water District, 2007).

*Fra 2007, Advanced Water Purification Facility:* Water Factory 21 erstattes af AWPf fra år 2007. Herfra vil ca. 97 mio. m<sup>3</sup>/år rensat spildevand blive injiceret og infiltreret i akviferen. 132 mio. m<sup>3</sup> spildevand fra områdets rensningsanlæg vil årligt blive mikro- og omvendt osmose filtreret og desinficeres med UV-belysning og tilsætning af hydrogenperoxid. Årligt vil ca. 13 mio. m<sup>3</sup> returneres fra mikrofiltreringen til spildevandsrensningen og 22 mio. m<sup>3</sup> koncentrat fra omvendt osmose-behandlingen udledes med det øvrige spildevand til Stillehavet (Daugherty et al, 2005; Rashidi, 2004; Orange County Water District, 2004).

#### Tidsramme

Recirkulering/saltvandsbarriere: Startede i 1975 med WF21, med den væsentligste opgradering i løbet af 2007 (AWPF).

#### Drivkræfter

*Vandmangel:* Området er genstand for en kraftig befolkningstilvækst med en forventning om 500.000 flere borgere i år 2020. Af miljømæssige og politiske årsager forventes en del af den nuværende overfladevandsressource at blive utilgængelig i 2016 (GWRSystem, 2007)

*Saltvandsindtrængning:*

Grundvandressourcen påvirkes af øget saltvandsindtrængning og injektionen af recirkuleret spildevand skal skabe en barriere, der hæmmer en fortsat saltvandsindtrængning og beskytter den ferske grundvandsressource (GWRSystem, 2007).

#### Vandforbrug

Der pumpes 333 mio. m<sup>3</sup>/år fra akviferen som Orange County Water District Administrerer. Vandet leveres til 23 byers vandforsyninger. Det forventes, at der indenfor 25 år kan blive behov for en oppumpning i størrelsen 555 mio. m<sup>3</sup>/år (Orange County Water District, 2007).

#### Årsag til forbrugstendens

Der har været og forventes også fremover en kraftig befolkningstilvækst i området.

#### Vandkvalitet

Vurderingen af vandkvaliteten er baseret på resultater fra et pilotanlæg. Af 198 organiske forbindelser, blev 12 detekteret i udløbet fra RO-membranerne, heraf et enkelt, n-Nitrosodimethylamine (NDMA) i koncentrationer, der overskrider grænseværdierne (Burris and Herndon, 2000). Niveauet for NDMA er dog siden vist reduceret under grænseværdien af oxideringen i UV-anlægget (Daugherty et al, 2005).

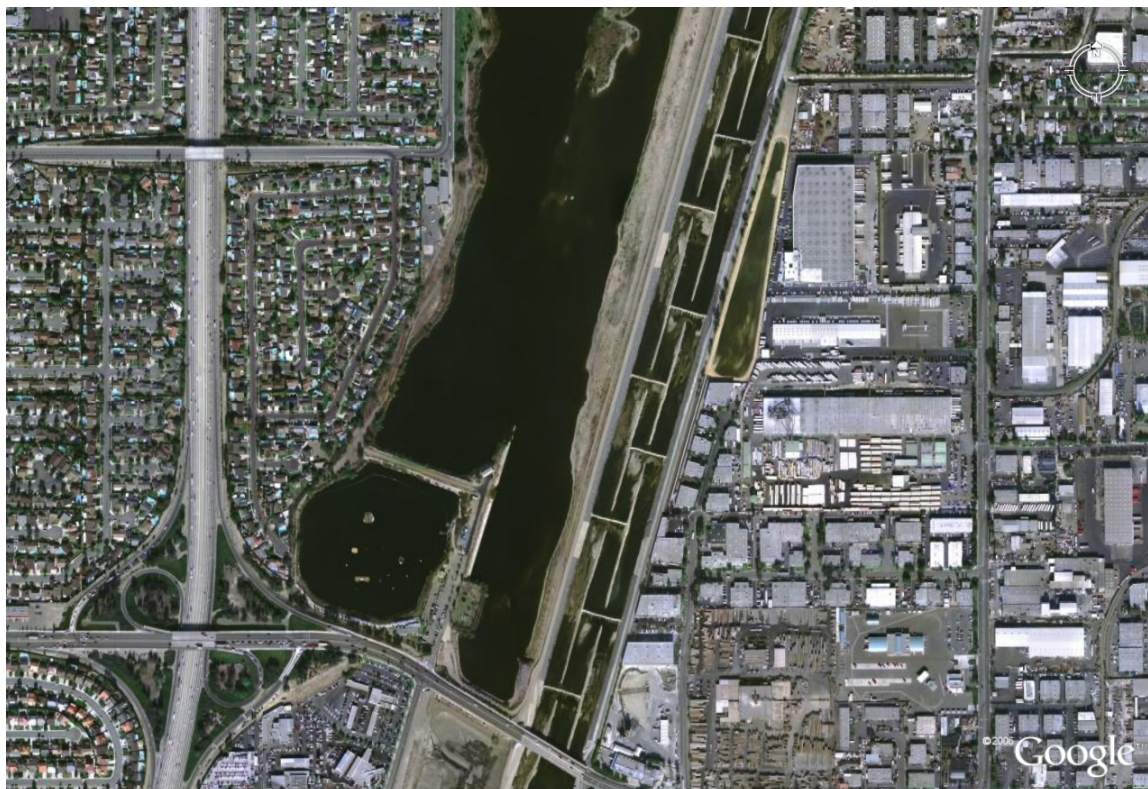
En uafhængig ekspertgruppe har haft projektplanerne til gennemsyn og konkluderede, at recirkuleringsprojektet vil medføre en uændret eller mindsket risiko for befolkningens sundhed (GWRSystem, 2001).

#### Økonomi

Investering (Advanced Water Purification Facility mm.): 2,8 mia. kr.

*Produktion af recirkuleret vand:* Ca. 2,44 kr./m<sup>3</sup> injiceret vand (GWRSystem, 2007).





Anaheim i Orange County, infiltrationsbassiner langs floden Santa Ana. Fra Google Earth januar 2007.

### **Omkostningsdækning**

Investeringen i den nye Advanced Water Purification Facility og tilhørende injektions- og infiltrationsanlæg dækkes af Orange County's Water District (40 %), Sanitation District (40 %), staten Californien (16 %) og den føderale recirkulerings fond (4 %) (Groundwater Replenishment System, 2006). Orange County Water District sælger det indvundne grundvand til vandforsyningerne i området samt eksporterer til øvrige vanddistrikter.

### **Politisk modenhed**

Recirkuleringsprincippet har været anvendt i Orange County Water District siden 1975.

### **Borgerinddragelse**

Der arrangeres rundvisninger på recirkuleringsanlægget og institutionernes hjemmesider er omfangsrige i formidlingen af projekterne.

### **Forbrugeraccept**

Ingen oplysninger.

### **Teknisk modenhed**

Der er tale om gennemprøvede teknikker i vandrensning og infiltration, og injektion til grundvandet har stået på i årtier.

### **Risici**

I tilfælde af strømsvigt, vil en nødforsyning sikre, at alt vand fortsat bliver mikrofiltreret, UV-belyst og udledt til Santa Ana-floden i

stedet for direkte injektion i akviferen (Burris og Herndon, 2000; Corneille et al. 2000).

Recirkuleringsprojektet vil sikre en stabil og klimauafhængig vandressource. Projektet går fremad som planlagt, se i øvrigt *Vandkvalitet*.

### **Miljøforhold**

Infiltrationen til grundvandet hjælper til at holde forurenat vand fra floderne ude og hindrer havvandsindtrængning i akviferen.

Det forventede energiforbrug er 1,4 kWh/m<sup>3</sup>, dertil kommer forbrug ved almindelig spildevandsbehandling (Corneille et al. 2000).

Koncentratet fra RO-processen har et TDS indhold på ca. 6.000 mg/l og udledes til havet (Burris og Herndon, 2000).

### **Forventninger til fremtiden**

Anlægget er forberedt på udvidelser (GWRSsystem, 2007).

### **Anbefalet læsning**

Water Factory 21:

[www.ocwd.com/html/wf21.htm](http://www.ocwd.com/html/wf21.htm)

Advanced Water Purification Facility:

[www.gwrssystem.com](http://www.gwrssystem.com)

### **Vurdering**

Orange County Water District har siden 1933 varetaget forvaltningen af en stor og eftertragtet grundvandsressource. Siden

1970'erne har der med stigende intensitet været tale om en særdeles aktiv styring af ressourcen med kunstig infiltration og injektion af overfladevand og rensat spildevand. Man kan nærmest betragte vanddistriktet som en "vandbank", der køber, opbevarer og endeligt sælger vand til brug primært i det lokale område, men også til øvrige dele af Sydøstcalifornien. Det er planlagt at benytte Orange Countys akvifer som regionalt reservoir, hvor der infiltreres "billigt" vand fra omkringliggende oplande i våde år, der derefter kan sælges til normal pris i tørre år. Prisdifferencen skal dække udgiften til infiltrationen (GWRSystem, 2007).

Under driften af den tidligere Water Factory 21 har vanddistriktet høstet erfaringer med vedligeholdelse af infiltrationsbassiner og behandling af spildevand i almindelighed. I arbejdet med den nye Advanced Reclamation Plant, er der gået grundigt til værks med både miljø- og sundhedsmæssige vurderinger af projektet, der er blevet læst og kommenteret af uafhængige eksperter. Det må ses som et ønske om at være på forkant med en eventuel kritik af recirkuleringsprojektet.

## Konklusion

Eksemplet er ikke mindst interessant i en storbykontekst, hvor byens vandforsyning og spildevandshåndtering ses i sammenhæng med hele oplandets tilgængelige vandressource. Efter Californisk model ville sådan en by kunne tilbagelevere en del af det indvundne grundvand som genindvundet fra højtrenset spildevand. Derudover indeholder eksemplet mange tekniske erfaringer, der kan være til gavn for lignende projekter andre steder. Dog bør der ved en eventuel teknologioverførsel tages højde for klimaforskelle fra det sydlige Californien til det nordlige Europa.

## Referencer

- Burris, D. L. og Herndon, R.L. (2000) Title 22 engineering report for the groundwater replenishment system. Orange County Water District og Orange County Sanitation District.
- Corneille, R., Chalmers, R.B., Cutler, D., Cruz, C. og Dy, D. (2000) Groundwater Replenishment System. Project development phase – development information memorandum #31. Camp Dresser & McKee.
- Daugherty, J.L., Deshmukh, S.S., Patel, M.V., Markus, M.R. (2005) Employing advanced technology for water reuse in Orange County. The California Section of the Water Reuse Association third Annual Conference, San Diego February 27 - March 1.

Groundwater Replenishment System (2006) Monthly Progress Report November 2006. Findes på: <http://www.gwrssystem.com>.

GWRSystem (2001) Studies Conclude Water Produced by Groundwater Replenishment System Will Be Safe, Improve Basin's Quality. Brochure fra GWRSystem, findes på: [www.gwrssystem.com/about/waterquality.pdf](http://www.gwrssystem.com/about/waterquality.pdf)

GWRSystem (2007) Hjemmeside: <http://www.gwrssystem.com/about/need.html>. Sidst besøgt januar 2007.

Orange County Water District (2004) Groundwater management plan.

Orange County Water District (2007) Hjemmeside: [www.ocwd.com](http://www.ocwd.com). Sidst besøgt januar 2007.

Rashidi, A; Markus, M and Daugherty, J. (2004) The groundwater replenishment system. PowerPoint Præsentation APWA congress September 2004.

## 9 Recirkulering i Rio Rancho via membran-bioreaktor

### RECIRKULERING



#### Området

Rio Rancho, Sandoval County, New Mexico, USA. Ca. 70.000 indbyggere. Nordlig del af byområdet Rio Rancho-Albuquerque, der i snit modtager 227 mm regn/år og betegnes som et ørkenområde. Ligger på breddegrad med Middelhavet, men har kolde vintre på grund af fastlandsklimaet.

Byen baserer sin vandforsyning på grundvand fra den lokale akvifer.

#### Projekter

*Recirkulering af spildevand:* 2 lokale spildevandsrensningsanlæg, der med tiden ventes at modtage spildevand fra 10.000 husstande, er opgraderet til "advanced treatment plants" med brug af membran-bioreaktorer og omvendt osmose. Vandet infiltreres via bassiner og eventuelt med tiden bruges til ikke-drikkevandsformål i byen. Membran-bioreaktorerne kombinerer membranens filtreringsegenskaber med biologisk behandling, der hjælpes på vej af luftning i membranmodulerne (CDM, 2007; Zenon, 2007).

*Kunstig infiltration:* Det er pt. ukendt hvornår og hvordan vand skal infiltreres til grundvandszonen på grund af manglende finansiering (Utilities Division, 2006; NM RWA, 2006). (Utilities Division, 2006).

#### Tidsramme

Pilotforsøg afsluttet sommeren 2006, og det er en målsætning, at der ikke udledes spildevand til Rio Grande i 2009. (Kinser et al., 2006; MWH, 2003)

#### Drivkræfter

Der er meget tørt og samtidig er Rio Rancho en af de hurtigst voksende byer i USA, med et forventet indbyggertal på 125.000 i år

2010. I år 2000 formindskedes amtets (9.600 km<sup>2</sup>) grundvandsreserve med 20 mio. m<sup>3</sup>, primært til brug i offentlig og privat vandforsyning (Wilson, 2003). Omkring Rio Rancho er grundvandspejlet sænket med op til 30 m i perioden 1960-2002 (Bexfield og Anderholm, 2002).

#### Vandforbrug

*Total:* Faldende fra 765 l/p/d i år 2000 til 511 l/p/d i år 2005, hvilket inkluderer forbruget på en stor Intel-fabrik (Rio Rancho, 2005).

#### Årsag til forbrugstendens

Der køres vandsparekampagner og gives tilskud til vandbesparende hvidevarer mm. Der er desuden indført restriktioner på vandforbruget, der ved overtrædelse kan straffes med bøde (Rio Rancho, 2003). Intel har et internt kodeks, der påbyder dem løbende at forbedre vandeffektiviteten på deres Rio Rancho faciliteter og ikke øge vandforbruget (Intel, 2006).

#### Vandkvalitet

Det leverede drikkevand skal overholde statslige og føderale krav til drikkevandskvalitet. I år 2005 var alle krav overholdt. Vandet klores inden distribution. Kravene til det recirkulerede vand er ukendte.

#### Økonomi

Rio Rancho søgte staten om 160 mio. kr. til at udføre recirkuleringsprojektet, men fik kun bevilget 17 mio. kr. (NM RWA, 2006). Opgraderingen til avancerede spildevandsanlæg kostede 76 mio. kr. (CDM, 2007).

#### Omkostningsdækning

Ingen oplysninger.

#### Politisk modenhed

Den usikre finansiering kan tages som udtryk for, at der mangler politisk vilje til gennemførelsen, men ellers ingen oplysninger.

#### Borgerinddragelse

Ingen oplysninger.

#### Forbrugeraccept

Ingen oplysninger.

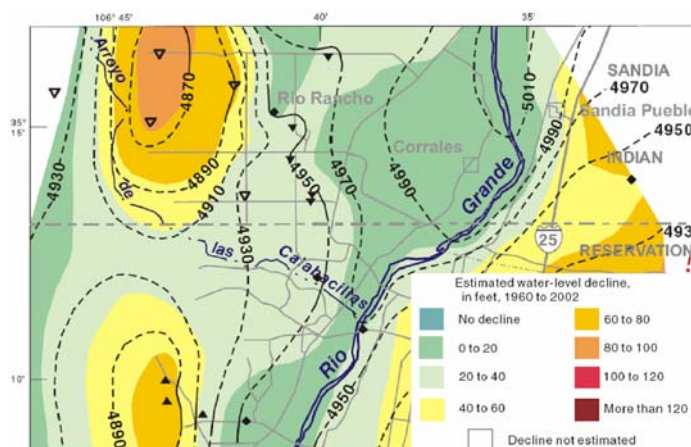
#### Teknisk modenhed

Membran-bioreaktorerne forventes at repræsentere state-of-the-art indenfor spildevandsrensning (Zenon, 2007).

#### Risici

Ingen oplysninger.





Sænkning af grundvandspejlet i området omkring Rio Rancho år 1960-2002. Redigeret fra Bexfield & Anderholm (2002).

### Miljøforhold

Koncentratet fra membranprocessen indampes i et fordampningsbassin og tørstoffet deponeres (MWH, 2003).

### Forventninger til fremtiden

Ingen oplysninger.

### Anbefalet læsning

Utilities Division (2006).

### Vurdering

De 2 millioner indbyggere i New Mexico, bor i et tørt hjørne af USA. Alligevel er der kraftig vækst i indbyggertal og vandforbrug, ikke mindst drevet af en række store virksomheder, som Intel, der har flyttet produktionsfaciliteter hertil. Rio Rancho casen repræsenterer flere tilfælde af alternativ vandforsyning i ørkenstatens byområder. Ligesom for eksempel Gallup (20.000 indbyggere) og Cloudcroft (800 indbyggere) arbejdes der på at sikre vandforsyningen på trods af årtiers overudnyttelse af grundvandsressourcen. Genbrug af spildevand prioriteres højt, da der ikke er andet vand at tage af (MacroWorld, 2007). Med den manglende finansiering af projektet er byen havnet i en uholdbar situation og de kommende måneder vil vise hvem, der skal dække omkostningerne, for der kan ikke være meget tvivl om, at vandet behøves.

Kombinationen af membran-bioreaktorer og omvendt osmose er interessant, da de øvrige omvendt osmose-systemer beskrevet i dette projekt benytter konventionel mikrofiltrering eller ultrafiltrering som forbehandling af vandet. Eksemplet illustrerer også udfordringen ved behandling af koncentrat fra membranprocessen langt fra kysten. Da der er mere end 700 km til den nærmeste kyst, må koncentratet

inddampes og deponeres, hvis ikke Rio Rancho vil belaste Rio Grande med den salte rest.

## Konklusion

Rio Rancho skiller sig ud fra de øvrige recirkuleringsprojekter, ved at vandbehandlingen inkluderer membran bioreaktorer og viser, at der også sker afvigelser fra den ofte set sekvens: mikro-/ultrafiltrering → omvendt osmose.

## Referencer

- Bexfield, L.M.; Anderholm, S.K. (2002) Estimated water-level declines in the Santa Fe Group aquifer system in the Albuquerque area, central New Mexico, predevelopment to 2002. USGS Water-resources investigations report no. 2002-4233.
- CDM (2007) Udførende entreprenørs hjemmeside: [http://www.cdm.com/knowledge\\_center/case\\_studies/rio\\_rancho\\_mbr\\_facilities.htm](http://www.cdm.com/knowledge_center/case_studies/rio_rancho_mbr_facilities.htm). Sidst besøgt februar 2007.
- Intel (2006) Intel in your community, New Mexico. Hjemmeside: <http://www.intel.com/community/newmexico/environment.htm>. Senest besøgt januar 2007.
- Kinser, K.J.; Landin, B.; Webb, L. (2006) Advanced treatment technologies for indirect potable reuse and industrial reclaimed water applications. Præsentation fra Water reuse workshop. RMSAWWA/WEA.
- MacroWorld (2007) Village working to recycle its water: Cloudcroft's system will treat wastewater for household use. Nyhed på [www.macroworld.net](http://www.macroworld.net) 7. januar 2007.
- MWH (2003) Water reclamation and reuseresearch in Rio rancho, NM. Powerpointpræsentation: New Mexico forum on reclaiming produced/brackish water. Juli 2003.
- NM RWA (2006) AGUA de Nuevo Mexico fall 2006. New Mexico rural water association. Findes på: [http://www.nmrwa.org/newsletters/nmrwa\\_fall06.pdf](http://www.nmrwa.org/newsletters/nmrwa_fall06.pdf)
- Rio Rancho (2003) Ordinance no. 19. Adopting chapter 17, public utilities, article 5, as the water conservation ordinance. Enactment no. 03-022, City of Rio Rancho.
- Rio Rancho (2005) Water quality report 2005. Water conservation Office, City of Rio Rancho, Findes på <http://www.ci.rio-rancho.nm.us>
- Utilities Division (2006) Rio Rancho is leading by example. Nyhedsbrev, City of Rio Rancho, Fall 2006. Findes på <http://www.ci.rio-rancho.nm.us>
- Wilson B.C. (2003) Water Use by Categories in New Mexico Counties and River Basins, and Irrigated Acreage in 2000. New Mexico State Engineer Office, Technical Report 51.
- Zenon (2007) Hjemmeside: [www.zenon.com](http://www.zenon.com). Senest besøgt januar 2007.

## 10 Direkte recirkulering i Windhoek

### RECIRKULERING



#### Området

Storby, hovedstad i Namibia i det sydlige Afrika med 250.000-300.000 indbyggere. Byen er omgivet af ørken og de nærmeste floder, der aldrig udtørre, ligger 750-900 km væk.

I perioden 1995-2005 kom 76 % af byens vandforsyning fra 3 overfladereservoirer, hvor dæmninger tilbageholder vand fra floder, der kun løber få dage efter kraftige regnskyl. 11 % kom fra grundvand og 13 % var recirkuleret spildevand. I 2007 består forsyningen af ca. 25-35 % recirkuleret spildevand (du Pisani 2007; Windhoek, 2007).

#### Projekter

**Direkte recirkulering:** Renset spildevand recirkuleres direkte til drikkevandsforsyningen. Recirkuleringsprocessen opdeles i rensning og recirkulering. Spildevandet renses i forklaringskøle, aktiv slam proces, efterklaring og oplagring. Selve recirkuleringsprocessen består af flere trin, som vist i figuren næste side. Anlægget er i stand til at recirkulere op til 21.000 m<sup>3</sup>/d og vandet opblandes med overflade- og grundvand inden distribution. Der benyttes kun husholdningsspildevand til recirkulering, mens spildevand fra industriområder ledes til separat spildevandrensning (du Pisani, 2006).

#### Tidsramme

Første version af recirkuleringsanlægget blev taget i brug i 1968. Siden er der udbygget og forbedret i 1977, 1980, 1986 og 2002 (du Pisani, 2006; Haarhoff og Merwe, 1996).

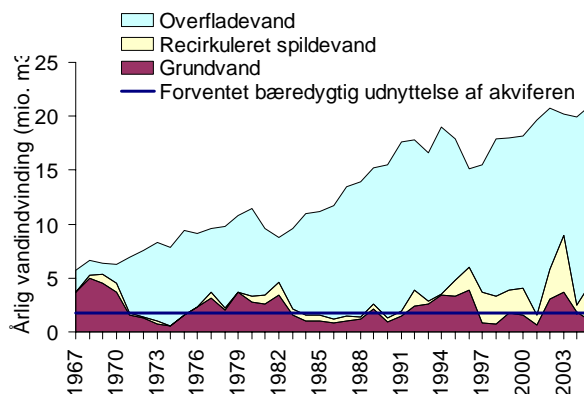
### Drivkræfter

**Vandmangel:** Windhoek har haft en årlig befolkningstilvækst på 5 % i perioden 1967-2005 (Baseret på Central Bureau of statistics, 2001; Windhoek, 2007).

### Vandforbrug

**Total:** Steget fra ca. 6 mio. m<sup>3</sup> i 1967 til 21 mio. m<sup>3</sup> i 2005, dog faldende fra 315 l/p/d i 1967 til 196 l/p/d i 2005 (Windhoek, 2007). Se figur herunder.

**Husholdning:** Ca. 75 % af ovenstående, svarende til ~150 l/p/d for 2005 (Gumbo, 2004).



**Den årlige vandindvinding i Windhoek 1967-2005. 1968 var første år med recirkuleret spildevand og da havde byen ca. 50.000 indbyggere. Data fra Windhoek (2007) .**

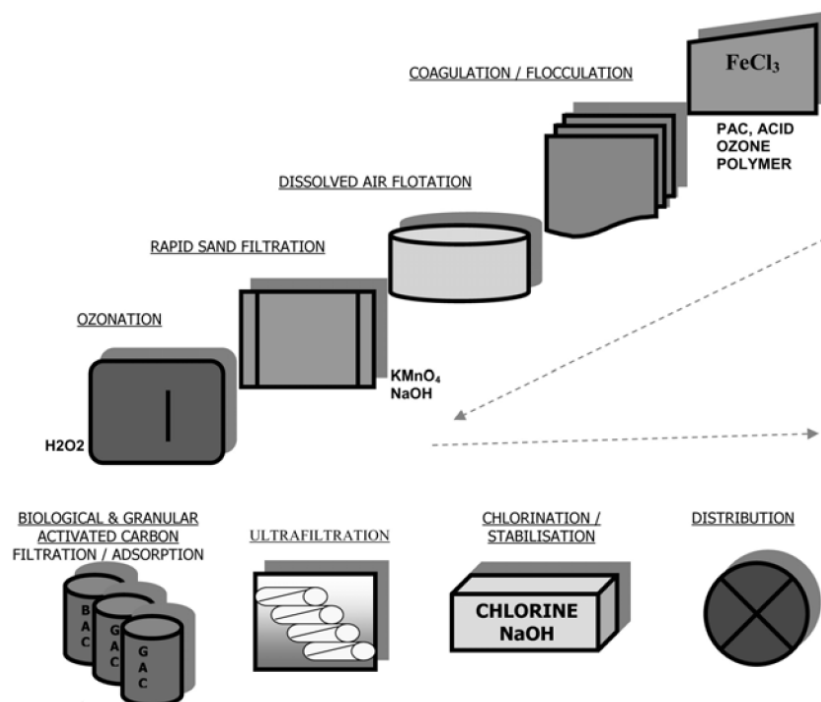
### Årsag til forbrugstendens

Den store befolkningstilvækst har øget det generelle behov for vand til byen. Der er indført strikse restriktioner på vandforbruget, med forbud mod: vanding i dagtimerne, brusehoveder med større udløb end 10 l/min, brug af vandslange til bilvask, dryppende haner mm. Overtrædelse straffes med bøder.

Vandafgiften stiger med forbruget (se *Økonomi*).

### Vandkvalitet

Vandet skal overholde kvalitetskrav svarende til det sydafrikanske Rand Water Standards. Kontrolprogrammet inkluderer løbende kontrol af tungmetalkoncentrationen. Andre miljøfremmede stoffer som pesticider og farmaceutiske stoffer er kun undersøgt i få tilfælde (1 gang i 2006), og har vist at det distribuerede vand indeholder spor af phtalater, men ikke østrogenlignende stoffer (du Pisani, 2007).



Windhoek's recirkuleringsanlæg siden 2002. Fra du Pisani (2006).

### Økonomi

*Produktion:* Recirkuleret vand produceres til ca. 5 kr./m<sup>3</sup>. Prisen for overfladevand leveret af en national vandforsyning er ca. 4,5 kr./m<sup>3</sup> (du Pisani, 2007).

*Takst:* Stigende med forbrug, 3 kr./m<sup>3</sup> for de første 6 m<sup>3</sup>, 5 kr./m<sup>3</sup> for 6-36 m<sup>3</sup> og 10 kr./m<sup>3</sup> for forbrug over 36 m<sup>3</sup> målt per bolig per måned (Windhoek, 2007; Gumbo, 2004).

### Omkostningsdækning

Ingen oplysninger.

### Politisk modenhed

Den seneste generation af recirkuleringsanlægget blev åbnet af Namibias præsident (du Pisani, 2006).

### Borgerinddragelse

Borgerne inddrages via vandspare-kampagner.

### Forbrugeraccept

Der er ikke registreret klager over vandkvaliteten i perioden 1998-2004 (du Pisani, 2006). Vandselskabet anslår, at <5 % af namibierne drikker flaskevand (du Pisani, 2007).

### Teknisk modenhed

Der er tale om en række gennemprøvede teknikker og forskellige generationer af anlægget har været i brug siden 1968.

### Risici

I Windhoek opererer man med 3 typer barrierer: Behandlings-, Ikke-behandlings- og nødbarrier:

Behandlingsbarriererne er beskrevet under projekter. Deraf ses, at den samlede proces har indbygget 4 barrierer for mikroorganismer: 2 gange O<sub>3</sub>-oxidation, ultrafiltrering og kloring. Aktivt kul er den væsentlige barriere mod organiske stoffer.

Da salte ikke separeres fra, sker der en langsom ophobning af salte i systemet. Råvandet til recirkuleringen har således i 2007 en inddampningsrest på 850-1100 mg/l mod 600-700 mg/l i 2002, hvilket forklares med en stigende andel af recirkuleret vand i vandforsyningen. Det distribuerede vand har typisk en inddampningsrest på 400-500 mg efter opblanding (du Pisani, 2007; Haarhoff og Merwe, 1996).

Ikke-behandlingsbarriererne består af en separering af industrielt spildevand, der ledes til et separat rensningsanlæg, monitorering af ind- og udløb af rensningsanlægget og løbende overvågning af anlæggets effektivitet både i delprocesser og efter endt behandling (du Pisani, 2006).

Muligheden for at tilsætte pulveriseret aktivt kul eksisterer som nødbarriere i tilfælde af, at den almindelige behandling i kulfilteret svigter.

En undersøgelse fra 1980'erne fandt, at recirkuleringsprojektet ikke har påvirket den generelle folkesundhed med hensyn til dødsårsager og kræfttilfælde (Haarhoff og Merwe, 1996).

## Miljøforhold

Recirkuleringsanlægget forbrugte i 2006 ca. 1 kWh/m<sup>3</sup> eksklusive spildevands-behandlingen og distribution.

## Forventninger til fremtiden

Ingen oplysninger.

## Anbefalet læsning

du Pisani (2006)

## Vurdering

Direkte recirkulering er det ekstreme tilfælde, hvor drikkevand produceres af spildevand uden en "naturlig" barriere eller opblanding i en sø, akvifer eller lignende. I modsætning til tilfælde hvor drikkevands-produktionen er baseret på ikke-planlagt indirekte recirkulering som i Berlin, giver direkte recirkulering den fordel, at man i designet af vandbehandling tager udgangspunkt i at skabe drikkevand af spildevand. Sagt med andre ord: man "glemmer" ikke, at der er tale om vand af en meget ringe kvalitet, der skal behandles til drikkevandskvalitet.

Windhoek har været et enestående eksempel på vandbehandling siden 1968 og forfatterne kender til et enkelt andet anlæg til direkte recirkulering.<sup>1</sup> Det bemærkes, at Namibia er et af de få lande i Afrika, hvor guidebøger fortæller, at det er sikkert at drikke vand fra hanen.

I de øvrige udvalgte cases med recirkulering til drikkevandsbrug er der konsekvent tale om brug af omvendt osmose eller nanofiltrering som barriere. Dette trin findes ikke i Windhoeks vandbehandling og udgør derfor ikke en ekstra barriere mod ophobning af salte, tungmetaller eller for eksempel farmaceutiske stoffer i vandkredsløbet.

## Konklusion

Windhoeks ekstreme vandsituation har ført til en enestående vandforsyning siden slutningen af 1960'erne. Casen viser, at spildevand drikkes efter omhyggelig behandling, vel vidende at vandets historie i andre lande ville gøre det bandlyst som drikkevand.

## Referencer

Central Bureau of Statistics (2001) Resultater fra den seneste folkeoptælling i 2001. Findes på [www.npc.gov.na/census/index.htm](http://www.npc.gov.na/census/index.htm).

Gumbo, B. (2004) The status of water demand management in selected cities of southern Africa. *Physics and chemistry of the earth* 29, s. 1225-1231.

Haarhoff, J., Merwe, B.V.d. (1996) Twenty-five years of wastewater reclamation in Windhoek, Namibia. *Water Science and Technology* Vol. 33, no. 10-11, s. 25-35.

du Pisani, P.L. (2006) Direct reclamation of potable water at Windhoek's Goreangab reclamation plant. *Desalination* 188, side 79-88.

Du Pisani (2007) Emailkorrespondance med Piet L. du Pisani fra Windhoek's vandforsyning februar 2007.

Windhoek (2007) City of Windhoek. Hjemmeside: [www.windhoekcc.org.na](http://www.windhoekcc.org.na). Sidst besøgt januar 2007.

---

<sup>1</sup> Under arbejdet med bruttolisten er der fundet et andet eksempel på direkte recirkulering. Det drejer sig om et planlagt projekt i Cloudcroft, New Mexico, USA, en ørkenby med 800 indbyggere.

# 11 Vandplan i Singapore

## VANDPLAN – RECIRKULERING

## AFSALTNING – REGNVAND



Singapore  
Foto: Deric Stucker

### Området

Asien, ca. 4,5 mio. mennesker på 683 km<sup>3</sup> (20 % større end Bornholm).

Vandressourcerne er pt. Overfladevand fra Malaysia 33 %, eget opland 50 %, NEWater 7 %, afsaltning 10 %. (Baht, 2006)

### Projekter

*Nye termer:* Før hed det "wastewater" og "wastewater plants", nu hedder det "used water" og "water reclamation plants".

*NEWater:* Recirkulering af spildevand dækker fra år 2011 20 % af det samlede vandforbrug, heraf 1-2,5 % som drikkevand. Det, der ikke anvendes til drikkevand, bruges i industrien, ikke mindst øens vandintensive halvlederfabrikker.

*Regnvandsreservoirer:* Etablering af reservoirer, der fra 2007 opsamler vand fra 2/3 af Singapores areal og med tiden vil opsamle vand fra 90 % af arealet. Et eksempel er Marina Barrage, der ved hjælp af en sluse vil opstuve regnvand i et havnebassin og beskytte vandet mod indtrængende havvand. Regnvandet ledes dertil i separat afløbssystem (PUB, 2006).

Se også figuren næste side.

### Tidsramme

2000-2061.

### Drivkræfter

Politisk ønske om uafhængighed af vandimport fra Malaysia (MFA, 2003; Po et al., 2003 p.8; AEN, 2003).

### Vandforbrug

*Total:* Stigende fra ca. 438 mio. m<sup>3</sup>/år. (PUB, 2006; SS, 2006).

*Husholdning:* Ca. 55 % af totalforbrug, faldende fra ca. 150 l/p/d (PUB, 2006).

### Årsag til forbrugstendens

Vandsparekampagne, men stigende befolkningstal og økonomisk vækst (NEWater, 2006; Tortajada 2006).

### Vandkvalitet

NEWater's fysiske, kemiske og mikrobiologiske data opfylder "USEPA's National Primary & Secondary Drinking Water Standards" og ligeledes "WHO's Drinking Water Quality Guidelines" (Expert panel, 2002; PUB, 2006).

### Økonomi

Takst (husholdning): 6-8 kr./m<sup>3</sup> stigende med forbrug. Dækker produktion og distribution.

Produktion: Afsaltning 3-5 kr./m<sup>3</sup> (afhængig af energipriser) NEWater 1,2 kr./m<sup>3</sup> (Kolesnikov-Jessop, 2006; Tortajada 2006).

### Borgerinddragelse

Massiv markedsføring af vandhåndtering via massemedier og besøgscentre. Opfordring og hjælp til at reducere vandforbrug (PUB, 2006; NEWater, 2006; Tortajada, 2006).

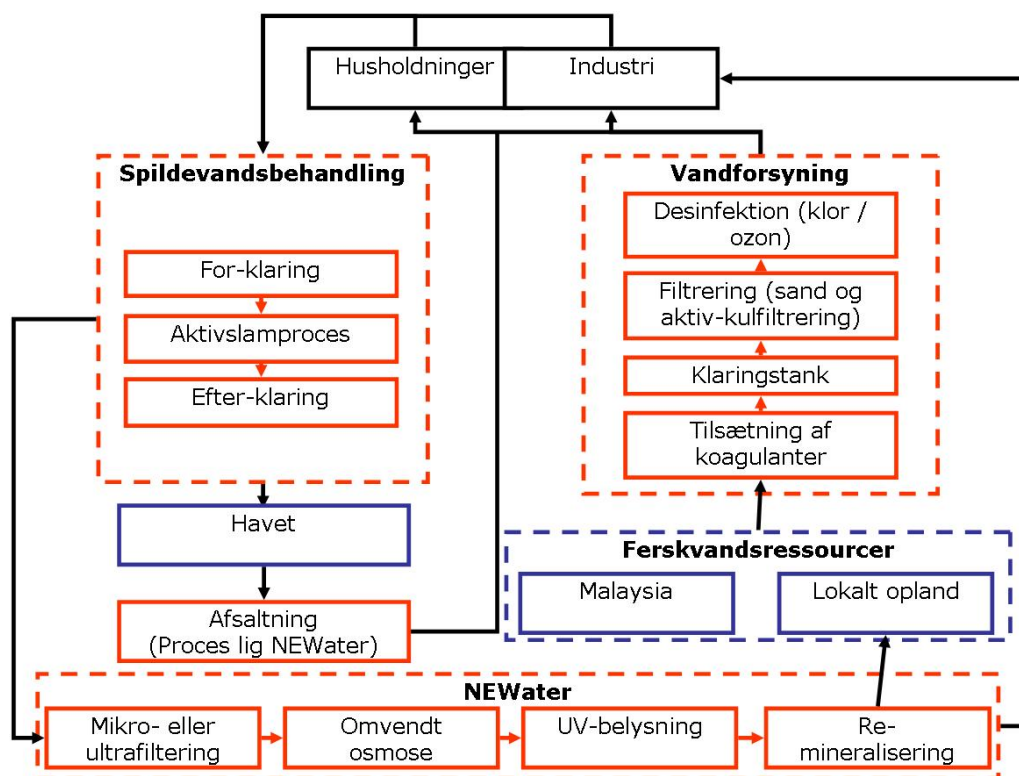
### Forbrugeraccept

Øget salg af flaskevand efter indførsel af NEWater i drikkevandsforsyningen (ca. 30 % indenfor det første år), men overvejende positiv modtagelse af NEWater-konceptet (AEN, 2003).

### Teknisk modenhed:

State-of-the-art løsninger på genbrug af spildevand og afsaltning i storskala (Baht, 2006; Kolesnikov-Jessop, 2006).





Vandkredsløbet i Singapore. Skitseret efter oplysninger fra (PUB 2006)

### Risici

2 års intensive observationer fandt ingen overskridelser af grænseværdier for 190 parametre i NEWater produktet, men uønskede stoffer er i enkelte tilfælde fundet i koncentrationer under grænseværdier sat af WHO i permeatet fra membranprocesserne, heriblandt trihalomethaner og formaldehyd (Expert panel, 2002; Ong, 2006).

### Miljøforhold

Energiforbrug ved produktion af NEWater < 1 kWh/m<sup>3</sup> (Expert panel, 2002). Afsaltning 4,1 kWh/m<sup>3</sup> (Water Technology, 2007)). Ellers ingen oplysninger om øvrige miljøforhold i de benyttede kilder.

### Forventninger til fremtiden

Vandplanen sigter mod en vandforsyning alene baseret på regnvand opsamlet fra eget opland, genbrugt spildevand og afsaltet havvand i år 2061 (PUB 2006).

### Anbefalet læsning

Tortajada (2006).

### Vurdering

Vandsituationen i den lille ø-stat Singapore er ekstrem, da landets areal (683 km<sup>2</sup>) kun er 20 % større end Bornholm, men huser omtrent 4,5 mio. indbyggere. Vandplanen er uden tvivl et ambitiøst forsøg på at hæve et stort byområdes selvforsyningsgrad. Der er tale om en integreret forvaltning af

vandressourcen, hvor spildevand betragtes som en ressource frem for et affaldsprodukt.

Singapore er en god repræsentant for gruppen af cases med planlagt indirekte recirkulering af spildevand.

Recirkulering af spildevand gennem NEWater-konceptet og opfattelsen af spildevand som en ressource er meget relevant, da op i mod 2,5 % af drikkevandet og 20 % af det samlede vandforbrug forventes at komme fra genbrugt spildevand i 2011.

### Konklusion

Singapores vandforvaltning er vurderet internationalt interessant i forhold til kommunikationsdelen og de meget omfattende projekter omkring reservoiretablering og NEWater-konceptet. Selve teknikken bag recirkuleringen af spildevand befinder sig på et avanceret stade, der dog ikke er unikt. Ideen med højtræsset spildevand går igen i flere af de her nævnte cases, mens den nærmest aggressive promovning af NEWater ikke ses i de andre tilfælde, hvor folk drikker recirkuleret spildevand. Andelen af recirkuleret spildevand i drikkevandsforsyningen er begrænset til 1 - 2,5 %, mens størstedelen leveres til industriel brug.

## Referencer

(AEN, 2003) Asian Economic News: FOCUS: Singapore pumps reclaimed water into reservoirs, Februar 10, 2003. Internetadresse: [findarticles.com/p/articles/mi\\_m0WDP/is\\_2003\\_Feb\\_10/ai\\_97399913](http://findarticles.com/p/articles/mi_m0WDP/is_2003_Feb_10/ai_97399913)

Baht, G. (2006) Best practice for maximizing use of recycled water – Singapore experience, Presentation 16 may, Hyflux™.

Expert panel (2002) Singapore water reclamation study. Expert review and findings. Fundet på [http://www.pub.gov.sg/NEWater\\_files/download/review.PDF](http://www.pub.gov.sg/NEWater_files/download/review.PDF)

Kolesnikov-Jessop, S. (2006) Singapore taps ocean for water and income, International Herald Tribune, 12 september 2006.

MFA (2003) Water issue is about sanctity of agreements, not about price alone, says Singapore Foreign Minister Prof. S JA Yakumar, Press release, Ministry of Foreign Affairs, Singapore 25. januar 2003.

NEWater (2006) NEWater hjemmeside: [http://www.pub.gov.sg/NEWater\\_files/index.html](http://www.pub.gov.sg/NEWater_files/index.html)

Ong (2006) Email-korrespondance med Prof. Choon Nam Ong, National University of Singapore, November 2006.

Po, M; Kaercher, J. D. & Nancarrow, B. E. (2003) Literature review of factors influencing public perceptions. CSIRO Land & water, Australia

PUB (2006) Public Utilities Board, Singapore. [www.pub.gov.sg/](http://www.pub.gov.sg/). Sidst besøgt december 2006.

SS (2006) Statistics Singapore: Yearbook of Statistics Singapore

Tortajada, C. (2006) Water Management in Singapore, Water Resources Development, vol. 22 (2) 227-240.

Water Technology (2007) Tuas Seawater Desalination Plant - Seawater Reverse Osmosis (SWRO), Singapore. Findes på [www.water-technology.net](http://www.water-technology.net). Sidst besøgt januar 2007.

## 12 Obligatorisk regnvandsopsamling i Seoul

### REGNVAND - VANDPLAN



#### Området

Seoul, Sydkorea. Ca. 10 mio. indbyggere. Alt byens vand hentes fra Hangang-floden.

#### Projekter

*Koordineret regnvandsopsamling:* I 2004 indførtes en ny lovgivning om installation og brug af regnvandsopsamling for at reducere risikoen for oversvømmelser og samtidigt reducere vandforbruget. Byens administration styrer folks fyldning og tømning af regnvandstankene for at sikre optimal drift.

*Obligatoriske regnvandstanke:* Alle offentlige bygninger og faciliteter skal installere regnvandssystemet. Nye private bygninger større end 3000 m<sup>2</sup> opfordres til at deltage og større byudviklingsprojekter skal give installation af regnvandssystemer første prioritet. Et eksempel på et større projekt er Star City-anlægget, der består af 3 tanke á 1000 m<sup>3</sup>, som opsamler vand fra udendørs- og tagarealer og leverer til alle formål, bortset fra drikkevand. Et andet projekt forsøger at udbrede et mindre regnvandsanlæg, kaldet Piggy Bank (Sparegris), med 400-1000 l tank og forbrugsmåler (Han, 2006; Han et al., 2006; Youngkyun & Han, 2006).

#### Tidsramme

Under udbygning siden 2004 (Han, 2006).

#### Drivkræfter

*Risiko for oversvømmelser:* Korea har verdens mest varierende nedbørsmønstre. Regnvandsmanagement er derfor blevet en central del af landets sikkerhedspolitik.

*Vandmangel:* Den høje variabilitet i nedbøren medfører årlige tørre perioder med pres på vandressourcerne (Han, 2006).

#### Vandforbrug

*Seoul total:* Faldet fra 469 l/p/d i 1995 til 334 l/p/d i 2005, men konstant omkring 1150 mio. m<sup>3</sup>/år for byen som helhed. Husholdningsforbruget udgør ca. 2/3 af det totale forbrug (Seoul, 2006).

#### Årsag til forbrugstendens

Ingen oplysninger.

#### Vandkvalitet

Ingen oplysninger.

#### Økonomi

*Takst:* Konventionel vandforsyning ca. 8 kr./m<sup>3</sup> (Han et al., 2006).

*Produktion:* Ingen oplysninger.

**Omkostningsdækning:** Seouls vandforsyning hentede i 1999 71 % af sine omkostninger ind via vandafgiften. Det har siden da været målet at nå fuld omkostningsdækning (Water Korea, 2001).

Regnvandsprojektet støttes økonomisk af Seoul Metropolitan Government og private firmaer, der dækker henholdsvis 50 og 25 % af udgifterne. Private frivillige, der får installeret mindre Piggy Bank anlæg, kan vælge at bidrage økonomisk med de sidste 25 % af prisen eller selv stå for installation og vedligehold af anlægget. De penge, der spares på vandregningen, indbetales i en fond, der har til formål at udbrede Piggy Bank-konceptet yderligere (Han, 2006; Han et al., 2006).

#### Politisk modenhed

Ingen oplysninger.

#### Borgerinddragelse

Borgerne forsøges inddraget i etableringen af små regnvandsopsamlingsanlæg jf. ovenstående.

#### Forbrugeraccept

Ingen oplysninger.

#### Teknisk modenhed

Systemerne er forholdsvis enkelt opbygget med simple filtre ved indløb. Ingen oplysninger om driftsforhold.

#### Risici

En egentlig effekt som back-up og supplement opnås først ved en stor udbredelse af regnvandsbeholdere, og det er uklart, hvor stor en udbredelse, der endnu er tale om (Han, 2006).

#### Miljøforhold

Forsinkelsen af vandet i regnbeholderen vil reducere risikoen for oversvømmelser i byområder.



## Forventninger til fremtiden

Det er målet, at regnvandssystemerne skal blive et aktivt element i strategien mod oversvømmelser og tørkesituationer.

## Anbefalet læsning

Han (2006).

## Vurdering

Seoul er en moderne storby, hvor alle bygninger er tilsluttet den offentlige vandforsyning. De decentrale regnvandssystemer, som er beskrevet her, skal først og fremmest reducere konsekvenserne af voldsomme regnhændelser, men vil samtidigt fungere som et supplement til vandforsyningen. Projektet er endnu i en indledende fase og på baggrund af det fundne materiale, er det ikke muligt at forudsige, hvornår der vil være målbare effekter på hele byens vandkredsløb. Piggy Bank projektet er baseret på relativt små opsamlingsstanke på 400-1000 l og de må antages at have en meget begrænset effekt på både vandforsyning og afløb, selvom de installeres i stort antal.

Regnvandshændelserne er væsentligt mindre i København end i Seoul, ca. 600 mm/år mod 1350 mm/år, men er til gengæld fordelt mere jævnt over året i Danmark. Den mindre nedbørsvarians i Danmark vil reducere kravet til beholder-volumen i forhold til Korea. Ligesom i Seoul vil mange decentrale regnvandsanlæg kunne benyttes til at regulere afstrømningen i forbindelse med regnhændelser og samtidigt bidrage til at gøre København mindre afhængig af importerede vandressourcer.

Det er uklart, om anlæggene er samfundsøkonomisk rentable, hvis man ser bort fra den reducerede oversvømmelsesrisiko og antager, at de alene er en del af vandforsyningen. Installationen må antages at være nemmest i forbindelse med nybyggeri og større renoveringer.

## Konklusion

Initiativet med obligatoriske regnvands-beholdere og central koordinering af opsamlingen virker meget seriøst og er interessant for København på trods af det væsentligt anderledes nedbørsmønster.

## Referencer

Han, M. (2006) Proactive multipurpose rainwater management in Korea. RWHM Workshop, IWA 5<sup>th</sup> World Water Congress and Exhibition, Beijing China.

Han, M.; Kim, T. og Song, J. (2006) Rainwater Piggy Bank Micro-Credit Project for Rainwater Promotion. RWHM Workshop, IWA 5th World Water Congress and Exhibition, Beijing China.

Seoul City (2006) Seoul City Government. Hjemmeside: <http://english.seoul.go.kr/> sidst besøgt januar 2007.

Youngkyun, K. & Han, M. (2006) Policy development and direction of rainwater management in the Republic of Korea. RWHM Workshop, IWA 5th World Water Congress and Exhibition, Beijing China.

Water Korea (2001) Status of water use. Findes på [http://www.water.or.kr/engwater/util/ewk\\_utl\\_waterworks\\_pay.html](http://www.water.or.kr/engwater/util/ewk_utl_waterworks_pay.html).

## 13 Lokal recirkulering i Japan

### RECIRKULERING - REGNVAND



#### Området

Japan, ca. 130 mio. indbyggere på 377.000 km<sup>2</sup>. Indvinding til drikkevandsproduktion er primært fra overfladevand 72 %, grundvand 24 % og øvrige ressourcer 3 % (Japan Water Works Association, 2003).

#### Projekter

*Lokale recirkuleringsanlæg:* I 1997 eksisterede der ca. 1500 mindre lokale regn og vandrensningsanlæg, der leverede vand til toiletskyl og vanding. Lokale anlæg er defineret som anlæg, der er tilsluttet en enkelt eller en blok af bygninger, oftest institutioner og erhvervsbyggeri.

Recirkuleringssystemerne kan minde om den udbredte johkasou, der behandler det samlede husholdningsspildevand (se figur næste side). Recirkuleringsanlæggene derimod, bruger sjældent sort spildevand.

Recirkuleringsanlæg fås i forskellige konfigurationer afhængig af hvilken spildevandstype, de skal behandle. De består typisk af følgende trin: 1. Si, 2. biologisk behandling i form af aktiv slam-proces eller membran-bioreaktorer, 3. eventuel mikro- eller ultrafiltrering, 4. eventuel aktivt kul og 5. desinfektion. Brug af membran-bioreaktorer gør anlæggene mindre pladskrævende end konventionel biologisk behandling.

Det er almindeligt, at kommunerne stiller krav om recirkuleringsanlæg i nye bygninger over en hvis størrelse, typisk 3000-5000 m<sup>2</sup>. I Tokyo er recirkulering påbudt i nye bygninger større end 30.000 m<sup>2</sup> eller hvis forbruget af ikke-drikkevand er større end

100 m<sup>3</sup>/d (Gaulke, 2006; Ogoshi et al, 2001; Yamagata et al. 2003; Yamagata, 2007).

#### Tidsramme

Recirkulering har vundet indpas siden 1960'erne. Det vurderes, at der på landsbasis installeres 130-150 nye lokale recirkuleringsanlæg årligt (Yamagata et al. 2003; Yamagata, 2007).

#### Drivkræfter

*Vandmangel:* Den kraftige urbanisering har medført et stort vandbehov til landets store byer.

*Eksisterende infrastruktur:* I hurtigtvoksende byer, bliver rygraden af vandinfrastrukturen underdimensioneret, når flere skal kobles på forsyningen. Lokal recirkulering reducerer behovet for udvidelser af den eksisterende infrastruktur (Ogoshi et al, 2001).

#### Vandforbrug

*Husholdning:* I 2002 ca. 245 l/p/d (Japan Water Works Association, 2003).

*Recirkuleret vand:* I 1997 blev der i alt recirkuleret 206 mio. m<sup>3</sup>, heraf 71 mio. m<sup>3</sup> i lokale recirkuleringsanlæg. Størstedelen af det recirkulerede vand bruges i byerne. (Ogoshi et al. 2001).

En undersøgelse fra 1999 viste,, at institutioner og erhverv tilsluttet recirkuleringsanlæg typisk sparede 30 % af drikkevandsforbruget (Yamagata et al. 2003).

#### Årsag til forbrugstendens

Ingen oplysninger.

#### Vandkvalitet

Det recirkulerede vand skal overholde en række kvalitetskrav før brug til toiletskyl, med fokus på at holde Coliforme bakterier under 10/ml, hvilket svarer til Japans krav til acceptabel badevandskvalitet. Vandet er kloret (Yamagata, 2003).

#### Økonomi

*Takst:* I 2002 var den gennemsnitlige takst for husholdninger 8 kr./m<sup>3</sup> (Japan Water Works Association, 2003).

I Tokyo stiger priserne trinvis med forbruget fra 0 kr./m<sup>3</sup> for de første 5 m<sup>3</sup>/måned/husholdning til 20 kr./m<sup>3</sup> for forbrug over 1000 m<sup>3</sup>/måned/husholdning. Storforbrugere betaler mere pr. m<sup>3</sup> end mindre aftagere (Tokyo Water Service, 2007).

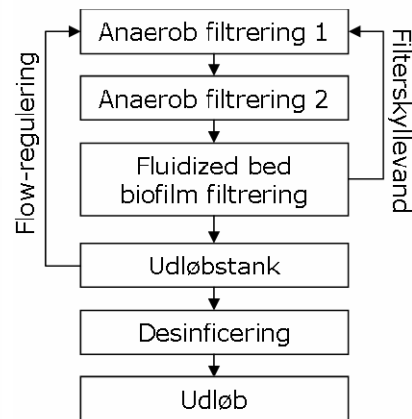
### Fujiclean CRX

Kapacitet: 1-10 m<sup>3</sup>/d

Indløb: BOD 200mg/L, TN 50mg/L, TP 5mg/L

Udløb: BOD 10mg/L, TN 10mg/L, TP 1mg/L, desinfektion af udløb med hypoklorid

Forventet levetid: >30 år



Eksempel på japansk "johkasou", et lokalt spildevandsanlæg til 5-10 personækvivalenter. Lignende "bokse" fås op til 500 PE (Global Environment Centre Foundation, 2007). Billede fra [www.fujiclean.co.jp](http://www.fujiclean.co.jp).

**Produktion alm. vandforsyning:** I 2002 var den gennemsnitlige omkostning inklusiv investering 13 kr./m<sup>3</sup> (Japan Water Works Association, 2003).

**Produktion recirkuleret vand:** I Fukuoka 1997 ca. 15 kr./m<sup>3</sup>, men der er rapporteret en stor varians mellem anlægstyper og størrelser (13-100 kr./m<sup>3</sup> inklusiv investering). Der er en tendens til at små anlæg er dyrere end større og har svært ved at konkurrere med prisen på vandhanevand (Ogoshi et al. 2001; Yamagata et al. 2003; Yamagata, 2007).

Prisen for installering af en Johkasou (5 PE) var i 2003 ca. 50.000 kr. og det er i Japan ofte billigere end at tilslutte sig et afløbssystem (Ogawa, 2003). Det er ukendt, om der betales afledningsafgift, for disse systemer.

#### Omkostningsdækning:

I Tokyo dækkes de løbende udgifter til vandforsyning af de opkrævede takster, mens investeringer støttes af kommunen og staten.

Etableringen af obligatoriske recirkuleringsanlæg støttes delvist af kommunerne (Yamagata, 2007).

Johkasou-anlæg støttes af det offentlige med 40-90 % af udgiften til installationen afhængig af område og finansieringsmetode (Ogawa, 2003).

#### Politisk modenhed

Recirkuleringen er påbudt i flere større byer og må derfor anses for at være politisk accepteret.

#### Borgerinddragelse

Det er den enkelte husejers ansvar at drive og vedligeholde sit recirkuleringsanlæg og ofte hyres et firma til at stå for driften.

#### Forbrugeraccept

Enkelte borgere nægter at få installeret de lokale recirkuleringsanlæg og der er i få tilfælde rapporteret om lugtgener og dårlig vandkvalitet (Yamagata et al. 2003).

Johkasou-anlæggene er vidt udbredte og må antages at være accepteret i almindelighed (Gaulke, 2006).

#### Teknisk modenhed

Der er tale om et udbredt koncept af recirkulering og johkasous, og med op til 150 nye anlæg pr. år må der efterhånden være etableret en teknisk modenhed i installationerne.

#### Risici

Der er ikke registreret alvorlige uheld med indtagelse recirkuleret vand (Yamagata et al. 2003).

#### Miljøforhold

Lokal recirkulering mindsker belastningen af vandressourcer, kloak og centrale rensningsanlæg. Energiforbruget er ukendt, men må antages at være højere end central behandling.

#### Forventninger til fremtiden

Ingen oplysninger.

#### Anbefalet læsning

Yamagata et al. (2003).

## Vurdering

Der har været tradition for lokal håndtering af spildevand i Japan i de såkaldte johkasou anlæg siden 2. verdenskrig. Den lokale behandling giver mulighed for at udlede rensat spildevand på stedet, uden at skulle installere og vedligeholde et omfangsrigt afløbsnet. Systemet er ikke ulig dele af systemerne, der er beskrevet i A2-rapportens scenarier Spildevands-konstruktion og Det teknologiske lokal-samfund, hvor der netop nævnes muligheden for at foretage lokale rensning af spildevandet med henblik på lokale genanvendelse (Hauger & Binning, 2006). Ved at kombinere en lokal spildevandsrensning med lokal recirkulering, vil det være muligt at spare udvidelser og vedligehold af både distributions- og afløbsnet. Det er interessant, at den lokale recirkulering af spildevand i Japan drives af et ønske om at undgå at udvide kapaciteten af den eksisterende infrastruktur i byområder med nybyggeri og tilflytninger. Det er ikke muligt at udpege et enkelt system som særligt succesfuldt, da valget af behandlingsmetode ofte afhænger af lokale forhold. Membran-bioreaktorerne har dog vist sig velegnede i bymiljøet, hvor de sparer pladsen til luftningstank og udløbets bundfældningstank (Yamagata, 2007).

Produktionsomkostningerne i vandforsyningen er meget høje for Japan sammenlignet med de øvrige udvalgte cases. Det forklares formentlig af forskellige opgørelsesmetoder og måske også nødvendigheden af at jordskælvsikre vandforsyningen i flere områder. De lokale recirkuleringsanlæg varierer som nævnt ovenfor meget i pris, og det er ikke på den nuværende baggrund muligt at afgøre, om lignende systemer kan eksporteres til København og være miljømæssigt og økonomisk bæredygtige.

## Konklusion

Johkasou-systemet viser, at spildevand kan behandles lokalt i avancerede anlæg, hvilket især er interessant, hvis man i dele af byen ønsker at undgå ny-kloakering, eller udvidelse af den eksisterende infrastruktur. Kombineres den lokale behandling med et recirkuleringssystem, bliver der tale om en integreret løsning, som kan afhjælpe en underdimensioneret vanddistribution og begrænsede vandressourcer gennem vandbesparelser. Herudover reduceres både behovet for ny-kloakering, samt risikoen for

udslivning af forurenede spildevand fra kloak til grundvand.

## Referencer

- Gaulke, L.S. (2006) On-site wastewater treatment and reuses in Japan. Water Management 159 Issue WM2, s. 103-109.
- Global Environment Centre Foundation (2007) Hjemmeside: [http://nett21.gec.jp/WATER/data/water\\_24-1.html](http://nett21.gec.jp/WATER/data/water_24-1.html), Sidst besøgt februar 2007.
- Hauger & Binning (2006) Integreret håndtering af vand og spildevand i København: Overordnet kortlægning af nuværende ressourcer og forbrug, samt eksisterende renseteknologier inden for vand- og spildevand. Institut for Miljø & Ressourcer, DTU, 2006.
- Japan Water Works Association (2003) Japan water supply data report 2003. Findes på: [www.jwwa.or.jp/english/water\\_en/frame-e02.html](http://www.jwwa.or.jp/english/water_en/frame-e02.html)
- Ogawa, M. (2003) National promotion programs for domestic wastewater treatment by johkasou systems. Proceedings of johkasou session, the 3<sup>rd</sup> world water forum, 16. marts 2003, Kyoto, Japan.
- Ogoshi, M, Suzuki, Y. og Asano, T. (2001) Water reuse in Japan. Water science and technology vol 43 no. 10, s. 17-23.
- Tokyo Water Service (2007) Water and sewage charges. Findes på [www.waterworks.metro.tokyo.jp/eng/tws/index.html](http://www.waterworks.metro.tokyo.jp/eng/tws/index.html)
- Yamagata, H., Ogoshi, M., Suzuki, Y., Ozaki, M. og Asano, T. (2003) On-site water recycling systems in Japan. Water Science and Technology: Water Supply vol 3 no.3, s. 149-154.
- Yamagata, H. (2007) Emailkorrespondance med Hiroki Yamagata, Wastewater and Sludge Management Division, National Institute for Land and Infrastructure Management (NILIM), februar 2007.

## 14 CO<sub>2</sub>-neutral afsaltning i Perth

### AFSALTNING - VANDPLAN



Kings Park, Perth. Foto: James Law

#### Området

Storby, Western Australia med ca. 1,5 mio. indbyggere. Vandressourcerne er pt. afsaltet vand fra Stillehavet (17 %), mens flere overfladevandsreservoirer og grundvand dækker resten af vandbehovet (Crisp, 2006).

#### Projekter

*Afsaltningsanlæg:* Produktion af 45 mio. m<sup>3</sup>/år vand af afsaltet havvand til brug i byens drikkevandsforsyning. Vandet leveres via et overfladevandsreservoir. Elektriciteten købes fra vindmølleparken Emu Downs.

#### Tidsramme

Færdigbygget 2006.

#### Drivkræfter

*Vandmangel:* En landsdækkende årelang tørkeperiode, der ikke er set siden 1895-1902, har tørlagt de traditionelle ferskvandsreservoir (Marsden & Pickering, 2006).

#### Vandforbrug

*Husholdning:* Indendørs, konstant i perioden 1981/82 til 1998/00 155 l/p/d. Udendørs, fordobling fra 1981/82 til 211 l/p/d i 1998/00 (Loh & Coghlan, 2003). I 2004/05 var det samlede vandforbrug dog sænket til 296 l/p/d (Water Corporation, 2006a).

#### Årsag til forbrugstendens

Brug af automatiske vandingsanlæg og sprinkleranlæg har kraftigt øget husstandenes vandforbrug udendørs, men siden 1998 har der været påbud om reguleret havevanding og kampagner for vandbesparelser (Loh & Coghlan, 2003; Water Corporation, 2006c).

#### Vandkvalitet

Det leverede vand skal opfylde Australian Drinking Water Guidelines fra 1996, der sætter krav til både sundhedsmæssig og æstetisk vandkvalitet samt kontrollen heraf. Alle krav er overholdt i året 2005/06 i Perth. Vandet tilsættes klor og fluor inden distribution. (Water Corporation, 2006d).

#### Økonomi

*Takst:* 2 til 7 kr./m<sup>3</sup> stigende med forbrug (Water Corporation, 2006c).

*Produktion:* Afsaltning produktion inkl. anlægsomkostninger og elforbrug 4,5 kr./m<sup>3</sup>. Anlægsprisen i forhold til produktionskapaciteten er ~15.000 kr. per m<sup>3</sup>/d (Crisp, 2006; Water Corporation, 2006b).

**Omkostningsdækning:** I 2005 dækkede vandafgifter 74 % af omkostningerne i vandproduktion og distribution. Resterende omkostninger dækkes af det offentlige (Marsden & Pickering, 2006).

#### Politisk modenhed

I Australien, som for tiden er stærkt præget af kampagner og heftige debatter om, hvordan tørkesituationen håndteres, udskiller Perth sig som en by, hvor alternativ forsyning med afsaltet vand er alment accepteret (Marsden & Pickering, 2006).

#### Borgerinddragelse

Meget information om vandforsyningen og statens vandressourcer er tilgængelig på internettet (Water Corporation, 2006b-d). Politikeres standpunkt i forhold til vandhåndteringen har haft afgørende betydning for deres valgresultater (SMH, 2005).

#### Forbrugeraccept

I Perth drak ca. 90 % af befolkningen primært vand fra hanen, mens der i Australien som helhed sker en kraftig vækst af flaskevandsforbruget (ABS, 2004). I Australien blev der i 2000-03 brugt ca. 35 l flaskevand per person per år (CBS, 2006).

#### Teknisk modenhed

Afsaltning af havvand ved afprøvede teknikker (Water Technology, 2006).

#### Risici

Usikkerhed om den tilgængelige vandressource er mindsket med etableringen af afsaltningsanlægget.

#### Miljøforhold

Energiforbrug ved produktion af afsaltet havvand ca. 4 kWh/m<sup>3</sup>. Udledning af koncentrat til havmiljø har meget lille påvirkning af strøm- og salinitetsforhold





Membrananlæg installeres på Perth Desalination Plant  
(Foto: Water Corporation)

(Water Corporation, 2006b).  
Elektricitetsforbruget købes hos en  
vindmøllepark (Emu Downs, 2005).

### Forventninger til fremtiden

Det forventes, at det senest i 2009 er  
nødvendigt at udvide vandproduktionen evt.  
ved at etablere endnu et afsaltningsanlæg i  
størrelsesordenen 45 mio. m<sup>3</sup>/år (Water  
Corporation, 2006c).

### Anbefalet læsning

[www.watercorporation.com.au](http://www.watercorporation.com.au)

## Vurdering

Perth er et eksempel på, at afsaltnings-  
teknologierne har udviklet sig med stor hast  
i løbet af de seneste 10 år. I en omfattende  
vandforsyningsstrategiplan fra 1994 blev  
"afsaltning" nævnt som en mulig  
vandressource for Perth efter år 2050  
(Stokes et al. 1994). Elleve år senere,  
november 2006, stod et af verdens største  
afsaltningsanlæg færdigt i Perth. Eksemplet  
illustrerer også uforudsigeligheden af  
tørkeperioder og nødvendigheden af at have  
en fleksibel vandforsyning, der indenfor  
relativt få år kan tilpasse sig en ny  
vandressourcesituation. I en omfattende  
analyse af de australske storbyers  
vandforsyningssikkerhed og -strategier  
fremhæves Perth som et af de få steder hvor  
der i praksis er taget godt vare om at sikre  
den fremtidige forsyning (Marsden &  
Pickering, 2006).

Enkelte forhold omkring bæredygtigheden af  
Perths vandforsyning bør bemærkes. For det  
første er vandforsyningens omkostninger  
kun delvist dækket af forbrugsafgiften og  
forbrugeren mærker derfor ikke den reelle  
pris for sit vandforbrug (Marsden &  
Pickering, 2006). Anlægget i Perth er  
væsentligt dyrere end en typisk anlægspris  
på ~6000 kr./m<sup>3</sup>/d (Pankratz, 2005). De  
ekstra udgifter til produktionen af  
vindenergien er inkluderet i  
produktionsomkostningerne, men der er i  
statens regulering af el-markedet indført  
særlige hensyn til vindenergi (Crisp, 2006;  
OOE, 2003). Vindenergiproducenter har  
blandt andet fået fortrinsret til salg af  
overskudsenergi på el-markedet. For det  
andet er det svært at gennemskue, om  
afsaltningsanlægget i praksis er CO<sub>2</sub>-  
neutralt. Hvis Emu Downs vindmølleparken  
var blevet opført uafhængigt af  
afsaltningsanlægget, vil det i stedet være  
marginalproducenten af elektricitet, der  
afgør, om afsaltningen kan betegnes som  
CO<sub>2</sub>-neutral.<sup>2</sup>

## Konklusion

I de udvalgte cases repræsenterer Perth  
storbyer, hvor afsaltet havvand spiller en  
stor rolle i fremtidens vandforsyning. Det er  
et erklæret mål, at hele vandforsyningen  
inklusive afsaltningsanlægget med tiden skal  
være CO<sub>2</sub>-neutral og etableringen af Emu  
Downs vindmøllepark i forbindelse med  
afsaltningsanlægget er interessant. Perth er  
også repræsentant for de cases hvor et  
paradigmeskifte i vandforsyningen set udefra  
er sket uden større folkelige protester.

## Referencer

- ABS (2004) Environmental Issues: People's views and  
practices. Australian Bureau of Statistics, catalogue no.  
4602.0. Findes på [www.abs.gov.au](http://www.abs.gov.au).
- ABS (2006) Western Australia at a glance, Australian  
Bureau of Statistics. ABS catalogue no. 1306.5. Findes  
på [www.abs.gov.au](http://www.abs.gov.au).
- CBS (2006) Bottled water. CBC News 26. september  
2006.  
[www.cbc.ca/news/background/consumers/bottled-  
water.html](http://www.cbc.ca/news/background/consumers/bottled-water.html).
- Crisp (2006) Personal communication with Gary Crisp of  
Water Corporation, Perth.
- Emu Downs (2005) Emu Downs Newsletter September  
2005. Findes på [www.stanwell.com](http://www.stanwell.com)

<sup>2</sup> Marginalproducenten er den elektricitetsproducerende  
enhed, der i praksis øger produktionen for at modsvare  
elforbruget på afsaltningsanlægget.

M. Loh & P. Coghlan (2003) Domestic Water Use Study in Perth, Western Australia, 1998-2001. Water Corporation.

OOE (2003) Electricity reform. A new deal for renewable energy. Office of energy, Government of Western Australia. Findes på <http://www.eri.energy.wa.gov.au>.

R.A.Stokes, J.A.Beckwith, I.R.Pound, R.R.Stone, P.C. Coghlan, and R. Ng (1994) A water strategy for Perth and Mandurah to 2021 (with focus to 2010). Water authority of Western Australia, Perth. Findes på [www.watercorporation.com.au](http://www.watercorporation.com.au).

J. Marsden & P. Pickering (2006) Securing Australia's Urban Water Supplies: Opportunities and Impediments. A discussion paper prepared for the Department of the Prime Minister and Cabinet. Marsden Jacob Associates.

Pankratz, T. (2005) Desalination technology trends, CH2M Hill, Inc.

SMH (2005) Running out of water – and time. The Sydney Morning Herald, 25. april 2005. Findes på [www.smh.com.au](http://www.smh.com.au).

Water Corporation (2006a) Water for Life, report 2006. [www.watercorporation.com.au](http://www.watercorporation.com.au).

Water Corporation (2006b) Perth Seawater Desalination Project. Hjemmeside: <http://www.watercorporation.com.au/D/desalination.cfm>. Senest besøgt december 2006

Water Corporation (2006c) Hjemmeside: [www.watercorporation.com.au](http://www.watercorporation.com.au). Sidst besøgt December 2006.

Water Corporation (2006d) Drinking Water Quality. Annual report 2005-06. Findes på [www.watercorporation.com.au](http://www.watercorporation.com.au).

Water Technology (2006) Perth Seawater Desalination Plant. Projektbeskrivelse på [www.watertechnology.net/projects/perth/](http://www.watertechnology.net/projects/perth/). Sidst besøgt januar 2007.

## 15 Gold Coast Water Future

### AFSALTNING – RECIRKULERING – REGNVAND - VANDPLAN



#### Området

Storby, Queensland i Australien med ca. 0,5 mio. indbyggere fordelt på kommunens 1400 km<sup>2</sup>, dog med størstedelen bosat i et smalt bælte langs kysten. Turistområde, der har over 10 millioner besøgende per år. I den nordlige del af kommunen er områderne Pimpama og Coomera ved at smelte sammen med ca. 15.000 indbyggere i dag og en forventning om 120.000 i år 2056.

Vandforsyningen er nu baseret på 2 overfladevandsreservoirer. I vinteren 2006/07 var der påbudt statens skrappeste restriktioner på vandforbruget i området.

#### Projekter

*Vandplan:* Gold Coast City Council (kommune) har i 2005 offentliggjort en strategi for at sikre vandforsyningen i 2056. Strategien er resultatet af en multikriterie-analyse af 5 forskellige scenarier for fremtidens vandforsyning. Derudover er byen underlagt Queensland (statens) lovgivning, der lægger rammer for og regulerer vandforvaltningen i hele staten. Vandplanen indeholder følgende elementer (Gold Coast Water, 2005):

*Afsaltningsanlæg:* Produktion af 20 mio. m<sup>3</sup>/år fra år 2030 var en del af vandplanen. På grund af tørkesituationen er etableringen af et større 46 mio. m<sup>3</sup>/år afsaltningsanlæg i Tugun dog sat i gang i 2006 med støtte fra Queenslands regering. Projektet er dermed udvidet til at være en del af hele statens vandreserve (GCDP, 2007).

*Recirkulering:* Der arbejdes endnu med at udvikle recirkuleringsdelen af vandplanen, men der er udelukkende tale om vand til ikke-drikkevands formål, indtil man kender

mere til den offentlige accept af recirkulering. Se også *Pimpama Coomera* nedenfor.

*Regnvandsopsamling:* Kommunen har indført påbud om installering af regnvandsbeholdere ved alle nybyggerier med minimum størrelse af 3-5 m<sup>3</sup> afhængig af hustype (Gold Coast Water, 2005). Staten giver op til 4500 kr. i støtte til husstandes køb og installation af regnvandsbeholdere. Der stilles ikke krav til beholdervolumen eller brugen af vandet (QLDG, 2006b).

*Vandbesparelser:* Staten giver rabat på anskaffelse af vandbesparende artikler som toilet, vaskemaskine, brusehoved, pool-dækken mv. (QLDG, 2006a).

*Restriktioner:* Der er fire niveauer af restriktioner på vandforbruget, fra 1: frivillig nedsættelse af forbruget til 4: Begrænsninger på vanding, brug af svømmebassiner, bilvask etc., der ved overtrædelse straffes med bøde (Gold Coast Water Future, 2006).

*Tryk- og lækagekontrol:* Siden 2003 er antallet af lækager reduceret med 71 % og vandtabet generelt reduceret med 9 % efter regulering af trykket. Dette arbejde fortsættes og staten har påbudt trykreducerende ventiler i alle nybyggerier i områder med "højt vandtryk" så konsekvenser af lækager minimeres (Gold Coast Water, 2005).

*Southern regional water pipeline:* 120 km rørledning skal kunne transportere drikkevand fra statens hovedstad Brisbane syd på til Gold Coast (Gold Coast Water, 2005).

*Pimpama Coomera:* Området har særskilt vandplan, der skal sikre 84 % reduktion af drikkevandsforbruget per indbygger: Dobbelt rørføring distribuerer recirkuleret vand til toiletter og udendørs brug (45 %), og drikkevand til køkken og drikkebrug (16 %). Regnvand opsamles og bruges til vask, bad og varmtvandssystem (25 %). Endelig forventes 14 % vandbesparelser (Gold Coast City Council, 2006).

#### Tidsramme

Flere projekter er i gang og der er planlagt flere frem mod år 2056. Afsaltningsanlæg skal stå færdigt i januar 2009 (GCDP, 2007). Distribution af recirkuleret vand i Pimpama Coomera fra 2008.

#### Drivkræfter

*Vandmangel:* En landsdækkende årelang tørkeperiode, der ikke er set siden



1895-1902, har tørlagt de traditionelle ferskvandsreservoirer. Gold Coast's vandreservoirer forventes at løbe tør i 2008, hvis tørken og indvindingen fortsætter som nu (Marsden & Pickering, 2006).

### Vandforbrug

*Total vandleverance:* 73 mio. m<sup>3</sup>/år.

*Husholdning:* Ca. 300 l/p/d. Heraf bruges halvdelen udendørs (RDS, 2005).

### Årsag til forbrugstendens

Ingen oplysninger.

### Vandkvalitet

*Drikkevand:* Vandet overholder National health and Medical Research Council Australian Drinking Water Guidelines fra 2004. Kvaliteten kontrolleres i et HACCP-program fra reservoir til vandhane (Gold Coast Water, 2007). Vandet tilsættes klor.

*Recirkuleret vand:* Det leverede vand betegnes *klasse A+*, der i teorien burde være ufarligt, men ikke må drikkes. Vandbehandlingen indeholder flere mikrobielle barrierer inklusiv ultra-filtrering, UV-belysning og kloring (Gold Coast Water, 2007).

### Økonomi

*Takst:* 5,20 kr./m<sup>3</sup> (Gold Coast City Council, 2007).

*Produktion:* Prisen for afsaltningsanlægget ventes at blive 5 mia. kr.

Produktionsomkostninger: ~4 kr./m<sup>3</sup> over en tiårig periode (GCDP, 2007).

Installation af regnbeholdere inklusiv forbindelse til varmtvandssystem, vaskemaskine, bad mm.: 15.000-21.000 kr. (Gold Coast Water, 2007).

Omkostningerne i Pimpama Coomera forventes at være nær omkostninger ved en traditionel udbygning af vandforsyningsnettet (Gold Coast City Council, 2004).

### Omkostningsdækning:

Forberedelser til afsaltningsanlægget: Første etape til 450 mio. kr. dækkes af stat og kommune. Finansiering af restbeløbet fastlægges i februar 2007. Uden finansiel støtte fra Australiens regering forudser Queensland's Water Commission en fordobling af vandprisen indenfor få år (Frew og Marriner, 2007).

Staten Queensland støtter byernes vandinfrastruktur med 40 % af kapitalomkostningerne (Marsden & Pickering, 2006).

Det vurderes, at en gennemsnitlig regnvandsbeholder vil samle 75 m<sup>3</sup>/år og sparer ejeren 390 kr./år, hvilket ikke alene kan forsvare investeringen.

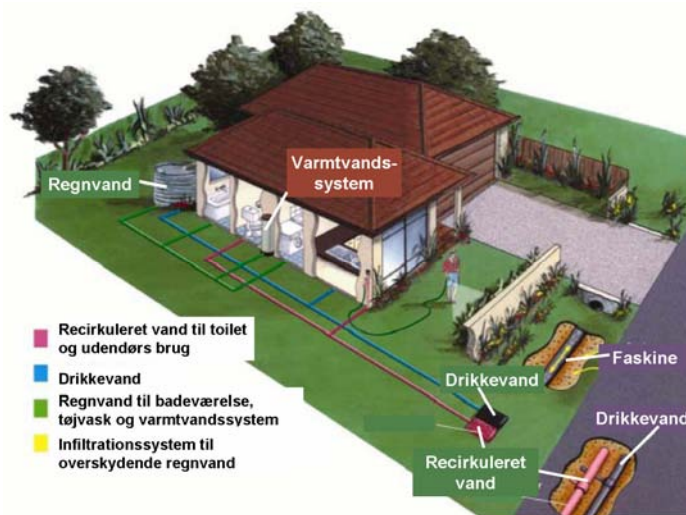
### Politisk modenhed

Planlægning og implementering af vandforsyningstiltag går meget hurtigt i Australien for tiden og i Gold Coast City bærer udviklingen præg af et behov om handling her og nu (Marsden & Pickering, 2006; Gold Coast City Council, 2007).

### Borgerinddragelse

Der er etableret borgergrupper, der løbende deltager i planlægningen af projekterne. F.eks. er en gruppe af lokale tilknyttet etableringen af afsaltningsanlægget, hvor de mødes jævnligt med de projektansvarlige, kan rejse spørgsmål og kommentere projektet. Møderne er åbne for offentligheden (Gold Coast City Council, 2006). I marts 2007 var der planlagt folkeafstemning om accepten af at fylde drikkevandsreservoirerne med recirkuleret spildevand (Gold Coast Water, 2007). Afstemningen blev dog aflyst efter den lokale regering på grund af fortsat tørke anså recirkulering som en uundgåelig del af områdets fremtidige vandforsyning (Glendinning, 2007).

Regnvandsbeholderne skal vedligeholdes af husejeren.



Grundprincip bag nybyggeri i Pimpama Coomera.

### Forbrugeraccept

Afsaltningsanlægget blev foretrukket frem for recirkulering som respons på den fortsatte tørke, da en meningsmåling viste større accept for afsaltning frem for recirkulering blandt borgerne. I Australien blev der i 2000-03 brugt ca. 35 l flaskevand pr. person pr. år og der er generelt en

kraftig vækst i flaskevandforbruget. (ABS, 2004; CBS, 2006).

### Teknisk modenhed

Der er tale om afprøvede teknikker og den sekundære forsyning gennemføres med hel-farvede rør, der tydeligt angiver hvilken vandkvalitet, der er tale om. Alligevel er der forlydender om at der opdages en del krydsforbindelser (Otterpohl, 2006).

### Risici

Usikkerheden om den tilgængelige ressource reduceres med etableringen af afsaltnings-anlægget. Tostrengt forsyning indebærer risiko for indtagelse af ikke-drikkevand.

### Miljøforhold

Energiforbrug ved afsaltning: 5.1 kW/m<sup>3</sup> inklusiv distribution, hvilket forventes at medvirke til 2 % forhøjelse af Gold Coast's udledning af drivhusgasser (CO<sub>2</sub>-ækvivalenter). Energien købes fra det regionale el-net, og der vil med 5 års mellemrum blive udarbejdet en rapport om mulige reduktioner i udledningen af drivhusgasser. I øvrigt findes der en omfattende vurdering af afsaltnings-anlæggets virkninger på miljøet (GCD Alliance, 2006).

### Forventninger til fremtiden

Vandplanen revideres løbende efter behov, dog mindst en gang hvert fjerde år (Gold Coast Water, 2005).

### Anbefalet læsning

Gold Coast City generelt:

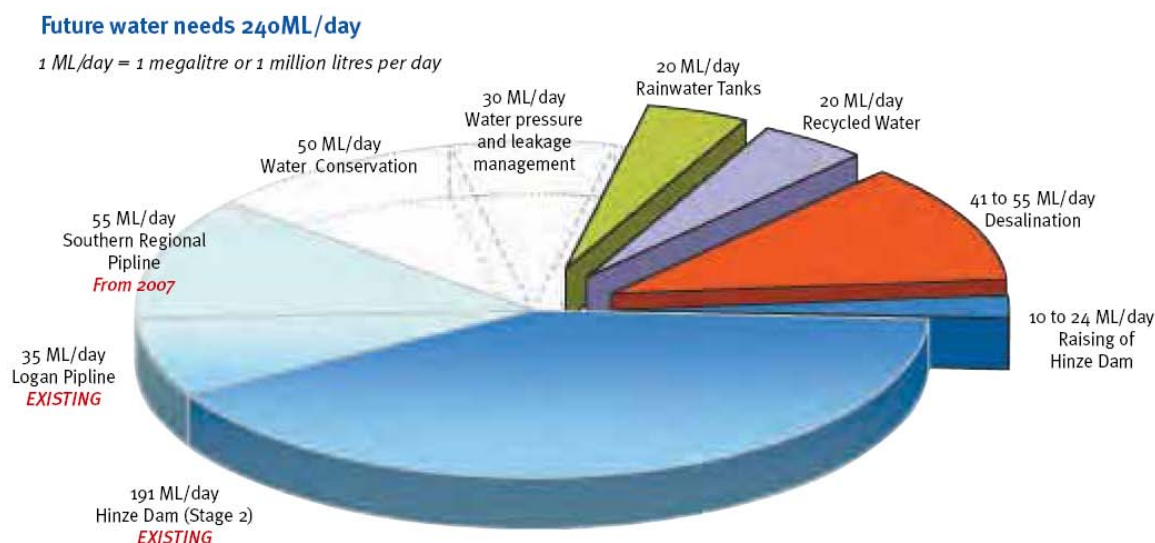
<http://www.goldcoast.qld.gov.au/gcwater/>

Pimpama Coomera: Gold Coast City Council (2004).

## Vurdering

Både i denne og Perth-casen (case 14) spiller vandressourcer og forsyning en enorm rolle i den offentlige forvaltning i Australien. På kommunernes, staternes og landets hjemmesider er vandressourcer ofte repræsenteret på forsiden, og der er en overvældende mængde information stillet til rådighed indenfor få museklik. En anden forskel fra danske tilsvarende hjemmesider er, at alle vandaspekter såsom drikkevand, vandressourcer, vandforurening, kystvande mm. ofte behandles under ét menupunkt på samme institutions hjemmeside. Eksempel på dette kan ses på Queensland's Environment and Resources hjemmeside (QER 2006).

Vandplanen for Gold Coast og ikke mindst delplanen for Pimpama Coomera er umiddelbart overbevisende, da der er tænkt meget bredt i bestræbelserne på at sikre fremtidens vandforsyning. Alle aspekter fra forbrugsregulering og lækagekontrol til vandimport, recirkulering af spildevand og andre alternative ressourcer er overvejet og kommenteret i vandplanen. Der er aktiviteter kørende indenfor alle aspekter, men tiden må vise hvilke tiltag, der konkret bidrager til vandforsyningen om 50 år, da planen er under stadig udvikling. Afsaltningsanlægget planlagt til udførelse i år 2031 står færdigt i 2009; som i de øvrige australske eksempler er vandhåndteringen præget af det akutte behov for handling. Det betyder blandt andet, at projekter sættes i gang, før den endelige finansiering er på plads, som det er tilfældet med afsaltningsanlægget. Dette anlæg blev bygget før tid med begrundelsen, at det er



Strategi for at nå målet om at kunne levere 240,000 m<sup>3</sup>/år vand til Gold Coast City i 2056. Fra Gold Coast Water (2005).

den eneste klimauafhængige vandressource, der kan etableres med meget kort varsel og at det er med til at sikre hele sydlige Queenslands vandforsyning. Recirkulering af spildevand var også inde i overvejelserne af mulige nødforsyning, men fik en lavere prioritet, da man mente at den offentlige proces med at konsultere befolkningen var for tidskrævende. I januar 2007 annonceredes det dog, at et projekt med indirekte recirkulering startes op inden den planlagte folkeafstemning om samme emne! (Gold Coast Water, 2005; Glendinning, 2007).

Igen bemærkes det, at forbrugeren ikke dækker den faktiske udgift til vandindvindingen over vandafgiften. Som beskrevet ovenfor forudser den lokale vandkommission, at fuld omkostningsdækning over vandafgiften vil medføre en fordobling af taksten indenfor få år.

## Konklusion

Den langvarige tørke i Australien har betydet en drastisk ændring af Gold Coast Citys vandplan med implementeringen af afsaltningsanlægget før oprindeligt planlagt. Det bliver interessant at følge, om de øvrige initiativer med recirkulering og regnvandsopsamling bliver fulgt til dørs. Multikriterieanalysen og opstilling af scenarier for fremtidens vandforsyning er meget relevant for Købehavn, og der kan høstes erfaringer af australiernes arbejde f.eks. med at involvere borgere i vandprojekternes følgegrupper.

Pimpama Coomera området er meget interessant med det erklærede mål om 84 % reduktion i drikkevandsforbruget. Der kan sikkert drages en del erfaringer fra projekterne med dobbelt rørføring og tre samtidige vandtyper (regn-, recirkuleret- og drikkevand) i husene. Den ekstreme tørkesituation betyder formodentlig også, at både politikere og befolkning har lettere ved at acceptere den økonomiske byrde forbundet med vandhåndteringen.

De nævnte tiltag skal alle ses på baggrund af områdets vandforbrug, der er væsentligt højere end det Københavnske.

## Referencer

Frew og Marriner (2007) Recycled water rejected out of fear, say critics. Avisartikel, The Sydney Morning Herald, 30. januar. Findes på <http://www.smh.com.au>.

GCD Alliance (2006) Material change of use application: ERA 16, 19 & 7. Miljørapport. Findes på:

[http://www.goldcoastwater.com.au/t\\_gcw.asp?pid=6541](http://www.goldcoastwater.com.au/t_gcw.asp?pid=6541)

Glendinning, L. (2007) Drought-hit Queenslanders to drink recycled sewage. Artikel Times Online, 29 januar. Findes på <http://www.timesonline.co.uk/article/0,,3-2572583,00.html>.

Gold Coast City Council (2004) Pimpama Coomera water future master plan. Findes på [http://www.goldcoast.qld.gov.au/t\\_gcw.asp?PID=5888](http://www.goldcoast.qld.gov.au/t_gcw.asp?PID=5888)

Gold Coast City Council (2007) Hjemmeside: <http://www.goldcoast.qld.gov.au/gcwater/>. Sidst besøgt januar 2007.

Gold Coast City Council (2006) Community input will continue for desal plant. Pressemeddelelse 30. oktober 2006. Findes på: [http://www.goldcoast.qld.gov.au/t\\_gcw.asp?PID=6485](http://www.goldcoast.qld.gov.au/t_gcw.asp?PID=6485)

GCDP (2007) Gold Coast Desalination Project. Projekt hjemmeside: [http://www.goldcoast.qld.gov.au/t\\_gcw.asp?PID=3174](http://www.goldcoast.qld.gov.au/t_gcw.asp?PID=3174). Sidst besøgt januar 2007

Gold Coast Water (2005) Ensuring our future is on tap. Gold Coast Water, Gold Coast City Council. Findes på [www.goldcoast.qld.gov.au/t\\_gcw.asp?PID=5152](http://www.goldcoast.qld.gov.au/t_gcw.asp?PID=5152).

Gold Coast Water (2007) Gold Coast Water. Hjemmeside: [www.goldcoastwater.com.au](http://www.goldcoastwater.com.au). Sidst besøgt januar 2007.

Gold Coast Water Future (2006) Residential level 1-4 water restrictions. Findes på <http://www.goldcoast.qld.gov.au/gcwater/home.asp>.

Marsden, J. & Pickering, P. (2006) Securing Australia's Urban Water Supplies: Opportunities and Impediments. A discussion paper prepared for the Department of the Prime Minister and Cabinet. Marsden Jacob Associates.

QER (2006) Environment and resources. Queensland Department of Environment and Resources. Hjemmeside: [http://www.qld.gov.au/services\\_for\\_queenslanders/environment\\_and\\_resources/](http://www.qld.gov.au/services_for_queenslanders/environment_and_resources/). Sidst besøgt januar 2006.

QLDG (2006a) What is the home waterwise rebate scheme. Brochure fra Queensland Government. Findes på <http://www.nrw.qld.gov.au/water/>.

QLDG (2006b) Rainwater tanks. Brochure fra Queensland Government. Findes på <http://www.nrw.qld.gov.au/water/>.

Otterpohl (2006) E-mailkorrespondance med Ralf Otterpohl fra Institute of Wastewater Management and Water Protection, TUHH Hamburg University of Technology, Tyskland, november 2006.

RDS, (2005) Household water use. Brochure fra Regional Drought Strategy. Findes på [http://www.waterforever.com.au/\\_uploads/126\\_Household\\_Water\\_Usage.pdf](http://www.waterforever.com.au/_uploads/126_Household_Water_Usage.pdf)